| Adalékanyagok és szemhalmazok témaköre | |
|---|---|
| Adalékanyag fogalma *(2003. október)* | |
| Betonadalékanyagok alkáli reakciója | Dolgozat *(2001. május)* |
| | Fogalom *(2001. július-augusztus)* |
| Betonadalékanyagok aprózódási csoportja *(2017. november)* | |
| Betonadalékanyagok az új, európai szabványokban *(2004. október)* | |
| Betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságainak komplex jellemzésmódja. **Kausay Tibor** kandidátusi értekezésének tézisei. 1978. *(**2023.** november)* | |
| Betonadalékanyagként szolgáló kőanyagok tulajdonságai *(1998. november)* | |
| Bontott, újrahasznosított adalékanyag fogalma *(2004. április)* | |
| Finomsági modulus fogalma *(2004. július-augusztus)* | |
| Homok halmazsűrűsége *(2003. december)* | |
| Homokok agyag-iszap tartalma *(2003. december)* | |
| Homokos kavics fogalma *(2003. december)* | |
| Homok, kavics, homokos kavics termékek szemnagysága, és a zúzottkövek kőzetfizikai csoportja, szemalakja *(2004. július)* | |
| Kőjövesztés a kőbányában *(2005. július)* | |
| Könnyű-adalékanyag fogalma *(2002. november)* | |
| Legnagyobb szemnagyság fogalma *(2004. december)* | |
| Számpélda a határgörbék közé illesztésre. 4. példa *(2000. november)* | |
| Számpélda a szemmegoszlás szerkesztésére. 6. példa *(2002. november)* | |
| Számpélda a szemmegoszlás tervezésére. 1. példa *(2000. november)* | |
| Példa a szemmegoszlás és a beton tervezésére. 2. példa *(2000. november)* | |
| Szemalak fogalma *(2005. május)* | |
| Szemalak. A 4 mm alatti szemek szemalakja *(2003. december)* | |
| Szemmegoszlás fogalma *(2004. május)* | |
| Szemmegoszlás tervezés fogalma *(2004. november)* | |
| Szemmegoszlási (szemeloszlási) határgörbék *(2003. április)* | |
| Szemmegoszlási jellemzők fogalma *(2005. február)* | |
| Szemmegoszlási jellemzők harmóniája *(1999. július - 2001. január)* | |
| **SZIKKTI** Betonosztály (beleértve: ÉaKKI, SZIKKI, BETONOLITH) tevékenysége, 1953-1996 *(Frissítve: 2009. augusztus)* | **Lásd: SZIKKTI...Betonosztályának emléke** |
| TYLER-féle, eredeti, amerikai laboratóriumi rézszita az 1910 utáni évekből. Három és fél perces film *(2012. január)* | **Lásd: Videó. Eredeti TYLER-féle RÉZSZITA** |
| Vasúti ágyazati zúzottkő *(2002. március)* | |
| Zúzott betonadalékanyagok kőzetfizikai tulajdonságai a szabályozásban *(2008. november)* | |
| Zúzottkő fogalma *(2004. január)* | |
| Zúzottkő termékek szemmegoszlása a felhasználói igények szempontjából. Építőanyag. 1985. 12. szám. pp. 353-363. *(2009. október)* | |
| Zúzottkövek aprózódási vizsgálatainak összefoglalása *(2001. június)* | |
| Zúzottkő és zúzottkavics termékek szemmegoszlási határgörbéi és kőzetfizikai csoportjai *(2005. október)* | |
| Zúzottkövek és zúzottkavicsok kőzetfizikai csoportjának vizsgálata, ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagységhatára az ún. „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti *(2006. június)* | |
| Zúzottkőbeton (és zúzottkavics vagy újrahasznosított adalékanyagú beton) nyomószilárdsági és környezeti osztálya a zúzottkő, illetve zúzott adalékanyag aprózódása függvényében *(2015. június)* | |

# Adalékanyag

| | |
|---|---|
| Németül: | Zuschlagstoff |
| Angolul: | Aggregate |
| Franciául: | Agrégat |

**A beton- és habarcstechnológiában adalékanyagnak a természetes és mesterséges eredetű, a természetben aprózódott, vagy iparilag aprított (tört), esetleg granulált szemhalmazokat nevezzük, amelyek a kötőanyagon, a vízen, az adalékszereken kívül a betonok és a habarcsok fő alkotórészei, és összességükben a betonok és habarcsok üregmentes térfogatának legalább 50-60 %-át kitöltik.**

**Ez alól a meghatározás alól kivételt képeznek a szemhalmaznak nem minősülő, mégis a fabetonok adalékanyagának tekinthető növényi, rostos anyagok, szemben az erősítőszálakkal, amelyek adagolása csak kivételesen több, mint 2 térfogat%, és amelyeket szerepük alapján nem sorolunk az adalékanyagok közé.**

**A beton és a habarcs szilárdulása folyamán az adalékanyag kémiailag lényegében változatlan (inaktív anyag), ellenkező esetben, ha a szilárdulásban kémiailag is részt vesz, a szemhalmazt (például a gázbetongyártási ◆ homokot vagy pernyét) nem tekintjük adalékanyagnak. Ha az adalékanyag kémiai átalakulása a szilárd betonban vagy habarcsban következik be, akkor az adalékanyag kémiai vagy mechano-kémiai károsodásáról beszélünk (például adalékanyag korrózió sav, lúg, szulfátion hatására, acélsalak-korrózió, alkálifém-oxid reakció ◆).**

**A habarcs adalékanyag legnagyobb szemnagysága legfeljebb 4 mm, a beton adalékanyag legnagyobb szemnagysága nagyobb, mint 4 mm, általában legalább 8 mm.**

**Az adalékanyag kiszárított állapotban, testsűrűsége ◆ szerint *nehéz (sugárvédő) adalékanyag* (> 3000 kg/m$^3$), vagy *közönséges (normál) adalékanyag* (2001-3000 kg/m$^3$), vagy *könnyű adalékanyag* (≤ 2000 kg/m$^3$). Az adalékanyagot akkor is könnyűnek tekintik, ha laza, kiszárított állapotban mért halmazsűrűsége nem több, mint 1200 kg/m$^3$ (MSZ EN 206-1:2002). A különleges tulajdonságú betonban és habarcsban betöltött szerepe alapján beszélünk *különleges adalékanyagról*.**

***Nehéz (sugárvédő) adalékanyag* a barit (sulypát, eruptív telér kőzet), a magnetit (mágnesvasérc), a hematit (vörösvasérc), a limonit (barnavasérc), a fémvas (acélsörét, szabályos alakú, tiszta acélhulladék), a szerpentin (átalakult kőzet).**

***A közönséges (normál) adalékanyag* általában természetes, ritkán mesterséges eredetű. A természetes eredetűek kőzetek, a mesterséges eredetűek ipari hulladékok:**

- **A legelterjedtebben használt természetes eredetű beton és habarcs adalékanyag a laza törmelékes kőzetek csoportjába tartozó homok, kavics, homokos kavics ◆, amely a víz (ritkán a szél, esetleg a gleccser) szállító hatására, természetes módon aprózódott, ezért általában törés nélkül, mosás és osztályozás után, ritkábban ezek nélkül is alkalmas beton és habarcs készítésére.**

  **A homok szemnagysága kisebb, mint 4 mm. Kvarctartalma általában több, mint 70 tömeg%. A kvarc kísérő ásványai a földpátok, muszkovit (csillám), biotit, gránát, amfibol, piroxén, kalcit stb. Ha a homok élő vízfolyásból származik, akkor folyami homok (szögletes szemalakú), ha egykor volt vízfolyás hordaléka vagy tó partján**

található, akkor bányahomok (gömbölyű szemalakú), ha szélhordta, akkor futóhomok a neve.

A kavics szemnagysága nagyobb, mint 4 mm. Összetétele az anyakőzet összetételétől függ, így lehet például kvarckavics, andezitkavics, gránitkavics, mészkőkavics stb. A kavics a víz görgető munkája hatására legömbölyödött, és a homokhoz hasonlóan lehet folyami kavics vagy bányakavics. A kavics önmagában ritkán, általában homok jelenlétében fordul elő, ilyenkor homokos kavicsnak nevezzük.

A homok, kavics, homokos kavics kitermelése többnyire víz alól, kotrással történik, kivéve a kis mélységű homok előfordulásokat, valamint a futóhomokot.

- Összetöredezett, természetes aprózódású, szögletes szemalakú, laza törmelékes kőzet a murva (például dolomitmurva, gránitdara), amely ha időálló, akkor törés nélkül, közönséges (normál) adalékanyagként beton készítésére alkalmas lehet.
- Aprítani (törni, zúzni, őrölni), majd osztályozni kell a robbantással kitermelt (jövesztett) mélységi (például gránit), kiömlési (például bazalt, andezit, dácit, riolit, diabáz), összeálló törmelékes (például grauwacke), vegyi üledékes (például tömött mészkő, dolomit) kőzetekből származó adalékanyagot, amelynek szemalakja szögletes. A szemnagyságtól függően zúzottkőnek ❖, kőpornak (legnagyobb szemnagysága legfeljebb 4 mm), kőlisztnek (legnagyobb szemnagysága legfeljebb 0,63 mm) nevezzük. A kőpor és a kőliszt anyaga általában mészkő vagy dolomit.
- Mesterséges eredetű, közönséges (normál) adalékanyag az építőipari bontási törmelék ❖, mint a betontöret, esetleg a vegyes (beton + tégla) töret.

A jelentősebb, zúzott vagy granulált, és osztályozott *könnyű adalékanyagok* ❖ a következők:

- Természetes, ásványi eredetű: vulkáni tufa (riolittufa, dácittufa, andezittufa, bazalttufa), lávasalak (tufarétegek felszínére ömlött forró láva a nedves tufából felvett gőz miatt hólyagossá vált, ilyen például hólyagos bazalt), duzzasztott agyagkavics, duzzasztott perlit.
- Természetes, növényi eredetű: fagyapot, faforgács, rizshéj.
- Mesterséges, ipari melléktermék eredetű: kohóhabsalak, granulált kohósalak, pernyekavics, kazánsalak, agloporit.
- Mesterséges, kőolaj eredetű: polisztirol gyöngy.
- Mesterséges, hulladék eredetű: duzzasztott üvegkavics; építőipari bontási törmelék ❖, mint a téglatöret, esetleg a vegyes (beton + tégla) töret.

*Különleges adalékanyag* például

- A sugárvédő hidrátbeton készítéséhez használható bauxit (üledékes kőzet, a felhasználásával készült beton **nem** bauxitbeton ❖).
- A tűzállóbeton készítésére alkalmas samott zúzalék és liszt. A samott tűzálló (nagy kaolinit tartalmú) agyagból égetett kerámia.
- A különlegesen kopásálló betonok adalékanyaga a sziliciumkarbid, a korund, a bórkarbid, az öntöttvas stb. szem.
- A vízzáróságot fokozó töltőanyag, amely lehet például trasz (finom szemű, vagy finomra őrölt vulkáni tufa), kőliszt (például mészkőliszt), Ca-bentonit (elsősorban kovasav dús vulkáni tufák mállásából és hidrotermális elbontásából keletkezett agyag, amelynek legfontosabb ásványa a montmorillonit, és amelynek nagy a Ca kation adszorbeáló képessége).

Az adalékanyag jellemzése eredete, ásványi vagy kémiai összetétele, hidrotechnikai tulajdonságai (például vízfelvétel ❖), szilárdsági, kőzetfizikai tulajdonságai, szemszerkezete (szemmegoszlás ❖, szemalak ❖, érdesség), időállósága, tisztasága alapján történik.

A beton és a habarcs adalékanyaga általában többféle szemhalmaz (frakció) keveréke.

Jelmagyarázat: ◈ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Megjelent a | BETON<br>szakmai havilap | 2003. október havi számának<br><br>10-11. oldalán |

# Beton-adalékanyagok alkáli reakciója

## (szabatosabban: alkálifém-oxid reakciója)

### Fogalommeghatározás

**Alkáli reakció:** Egyes beton-adalékanyagok és az alkálifém-oxid dús cementek hidratációs termékében levő alkálifém-hidroxidok beépülési, vagy csere-bomlásának a megnevezése. Az alkáli reakció kedvezőtlen körülmények hatására lép fel, térfogat-növekedéssel jár, a reakció jellegétől függően a beton felületén reakció-termékek jelenhetnek meg. Az alkáli reakció a beton összerepedéséhez, szilárdság-csökkenéséhez vezet. Kialakulásához hosszú évek kellenek. Az ilyen betont javítani nem lehet.

Az "alkáli reakció" nem alkáliák, hanem alkálifém-oxidok illetve alkálifém-hidroxidok hatására lép fel, ezért a jelenség szokásosnál talán szabatosabb megnevezése az **"alkálifém-oxid reakció"**. Az "alkáliák" megnevezést ugyanis sokkal tágabban értelmezik, a vizes oldatban lúgos reakciót eredményező anyagok általános megjelölésére használják, így az alkáli jelző szigorúan véve nem fejezi ki a szóban forgó reakció lényegét.

Az alkálifém-oxid reakciónak két alapvetően különböző változata van [1], úgymint az **alkálifém-oxid - szilikát reakció és alkálifém-oxid - karbonát (alkálifém-oxid - dolomit) reakció.**

Az alkálifém-oxid reakció kialakulása szempontjából kedvezőtlen, ha:

- a cement alkálifém-oxid tartalma nagy;
- a beton cement-tartalma több mint 400 kg/m$^3$, és ebből kifolyólag a beton nyomószilárdsági osztálya nagyobb, mint az MSZ EN 206-1:2001 szabvány szerinti C 16/20 érték;
- a kovasav kőzetekből (magmás, laza és összeálló törmelékes, átalakult kőzetekből) gyártott adalékanyag alkáli-érzékeny kovasavtartalmú részecskéket tartalmaz. Ilyen kőzet lehet például az opál-homokkő, a grauwacke, a flint, a kovás mészkő, stb;
- az adalékanyagul szolgáló dolomit kőzet dolomit-ásvány tartalma kevesebb, mint 90 tömeg%;
- a környezet nedves, azaz a beton illetve a vasbetonszerkezet az időjárásnak ki van téve, továbbá, ha a környezeti hőmérséklet magas.

**Magyarországon** külsőségeiben az alkálifém-oxid reakcióhoz hasonló beton-tönkremenetelek már szórványosan előfordultak, de nem lehet határozottan kijelenti, hogy az észlelt károsodások oka valóban alkálifém-oxid reakció volt.

**Alkálifémek, alkálifém-oxidok, alkálifém-hidroxidok:** Az alkálifémek a periódusos rendszer I. oszlopának főcsoportjába tartozó elemek, mint a lítium (Li), a nátrium (Na), a kálium (K), a rubídium (Rb), a cézium (Cs), és a francium (Fr) összefoglaló megnevezése. Alkálifémek a természetben sohasem fordulnak elő, levegőn azonnal oxidálódnak, vízzel pedig heves hidrogénfejlődés közben egyesülnek. Alkálifém-hidroxidok sincsenek a természetben, csak alkálifém-ionok vannak vizes oldatban. Az alkálifém-oxidok közül a cementben a nátrium-oxid ($Na_2O$) és a kálium-oxid ($K_2O$) fordulnak elő figyelemre méltó mennyiségben. Az alkálifém-oxid reakció tárgyalása során a kémiai egyenletekben a nátriumot (Na) és a káliumot (K) szokás "M" betűjellel, ezek hidroxidjait M(OH) szimbólummal jelölni.

**Kovasavak:** A szilícium ásványai, amelyek **sóit szilikátoknak nevezzük.** A szilikátok (amfibolok, piroxének, földpátok, csillámok, agyagásványok, stb.) fontos kőzetalkotó ásványok. A kovasavak egyike a metakovasav, más néven hidrogén-metaszilikát ( $H_2SiO_3$), amelyből vízvesztéssel szilícium-dioxid ($SiO_{2)}$ keletkezik. Meg kell jegyezni, hogy a kovasavak nem olyan konkrét savak, mint például a kénsav vagy a sósav, hanem virtuális savak, és ezért a cementkémikusok inkább meta-, orto-, stb. szilikátokról beszélnek. (*Dr. Révay Miklós* kandidátus úrnak e helyen mondok köszönetet tanácsaiért.)

**Kvarc:** A kovasav ásványa (SiO2). A szilícium-dioxid oldatból hatszöges, vagy trigonális rendszerben kikristályosodó ásvány, a kőzetek legelterjedtebb elegyrésze.

**Opál-homokkő (Opalsandstein):** A homokkő összeálló, törmelékes üledékes kőzet. Homokszemekből és kötőanyagból áll. A kötőanyag lehet kovasav (opál, kalcedon, kvarc), kalcit, dolomit, limonit, stb. Az opál-homokkő kötőanyaga opál ($SiO_2 \cdot H_2O$, a kovasav ásványa, amorf, víztartalma 3 - 13 tömeg%), de tágabb értelemben kovasav, ezért a kőzet típust **kovasavas homokkőnek** nevezik. Keletkezésekor a homok rétegbe a felette elhelyezkedő magmás (= eruptív) kőzet vagy agyag mállásából származó kovasav leszivárgott, és a homokszemeket összekötötte. A kovasav legnagyobb része kalcedon vagy kvarc alakjában kikristályosodott, kis része opál alakjában maradt vissza. A budai hegyekben eléggé elterjedt, kedvelt építőkő. [2]

**Grauwacke (lithischer Sandstein, grauvakke, greywacke)**: Homokkő, amelynek a meghatározása nem szabatos. A grauwacke jellegzetesen sarkos alakú, földpát, kvarc, kőzettörmelék szemekből áll, kötőanyaga agyagos kovasav. Általában sötétszínű, kellő szilárdságú, összeálló, törmelékes üledékes kőzet [3].

Szemnagysága a durva homok és a finom kavics tartományába esik. A lankás tengerfenéken felhalmozódott laza, vízdús üledék már kis fenéklejtés mellett is instabillá válhat. A tengerrengés gyakran válthat ki testsűrűség különbség okozta kiegyenlítő áramlást. (Ezt németül Dichteströmung-nak nevezik. Dichteströmung = Ausgleichsströmung infolge von Dichteunterschieden). Ilyenkor víz-üledék-lavina

csúszik a tengerfenéken lefelé. Ha ez többször megismétlődik, akkor mély, tenger alatti kanyon keletkezhet a lejtős tengerfenéken. Az üledék-víz-emulzió sűrűsége nagyobb, mint a környező vízé, ezért csúszik örvénylő mozgással lefelé. Eközben a már kissé megszilárdult rétegeket, mint sűrű iszapot, feldarabolva magával ragadja. Az örvénylő emulzióban a törmelék nem osztályozódik szét, a finom és durva szemek keverednek. Ahol a lavinaszerű mozgás lassul, ott a szétosztályozódás megindul. Az örvényből való lerakodás (Turbiditablagerung) lehet lejtő közeli és lejtő távoli. Egy lavina mindig egy réteget képez, de a folyamat gyakran százszor is megismétlődik, úgy, hogy a grauwacke sokszor különálló, a kiegyenlítő áramlásoknak megfelelő rétegeket képez. A különálló rétegeket mindig határozott rétegződés jellemzi (a durva szemek gyorsan, a finom szemek lassan ülepszenek), és a hegységképződés tekintetében lehet a fenn/lenn jelzőt használni. Az altalaj üledékben élő organizmusok átjárják a fedőrétegeket. A grauwacke magán viseli a tengerfenék vízmozgásait. A szemcsés törmeléket harmada vagy annál is több agyagméretű (nem feltétlenül agyagásványokból álló) mátrix veszi körül. Az üledék rétegekre újabb rétegek kerülnek, azok egyre mélyebbre süllyednek, a hegyképző erők hatása alá kerülnek, és kisebb-nagyobb metamorfózison esnek át. Például az Alpokban vagy Skóciában a grauwacke erős metamorfózis hatására alakult ki. A Harz-hegységben igen gyakori kőanyag, és így érthető, hogy Németországban a grauwacke beton-adalékanyag alkálifém-oxid érzékenységével fokozott mértékben foglalkoznak.[4]

Magyarországon a Balaton-felvidék mélyfekvőjében, különálló rétegtani egységként települ grauwacke összlet [5]. A Pallas Nagy Lexikona [6] szerint grauwacke található a Kis-Kárpátokban, a Központi Kárpátokban, a Fruska Gora hegységben.

A mai magyar nevezéktanban “grauwacke”-nak hívjuk, bár régebben említették “szürke vakke”-ként is [6].

*Dr. Kertész Pál* kandidátus, tanár úr elbeszéléséből tudjuk, hogy a grauwacke-t a régi erdélyi kőbányászok (akik zömükben betelepült szászok voltak) “savanyú keselykő”-nek nevezték, de a kőanyag erdélyi előfordulásáról nincs tudomásunk. Ugyanezt a szép kifejezést találjuk *Halász Előd*Német-magyar nagyszótárában (die Wacke, ~, ~n = 1. agyagos keselykő, 2. kavics), amelyet harmadik kiadásban, 1970-ben jelentetett meg az Akadémiai Kiadó.

A Pallas Nagy Lexikona [6] továbbá ezt írja: “Grauwacke (ásv.), quarc, kovapala, agyagpala alkotta konglomerát, mely majd erősen csillámos, majd igen finomszemű és sokszor palás. Németország szilur, devon és némileg karbon szisztémájában is fontos szerepet játszik roppant kiterjedésénél fogva.”

A Révai Nagy Lexikonában [7] ez olvasható: “A grauwacke földpát, kvarc, kovapala, diabáz, gránit stb. kőzetek törmelékéből álló paleozoi korú konglomerát; színe piszkosszürke. Majd nagyszemű (grauwacke-konglomerát), majd aprószemű

és palás (grauwacke-pala), a törmelékszemeket agyag- vagy kova cementálja össze. Nagyon elterjedt kőzet."

**Flint:** Más néven tűzkő, amely közeli rokona a szarukőnek. Színe a felületen fehér, szürkés-sárga, a kőanyag belsejében szürke, barna. Vegyi üledékes, kovasavkőzet. A kovasav maga tengeri szervezetek (például kovasavas szivacsok) kovasavas vázából származik. A kovasav bekerült a tenger fenekén a mésziszapba, vagy azzal egyidejűleg rakódott le. A mészkő kiemelkedése után a felszínről beszivárgó víz a kovasavat feloldotta, elszállította, majd a kovasav a koncentráció növekedésével a vízből kicsapódott. Tűzkő a neve, ha krétakori mészkőbe ülepedett, szarukő a neve, ha egyéb mészkőbe vagy dolomitba ülepedett. Szarukő található a budai hegyekben, a dunántúli mészkövekben, nagy vastagságban a Spitzbergákon. Tűzkő nagyobb mennyiségben fordul elő a szenon időszaki krétában Angliában, Dániában, Németországban (Rügen szigetén). **"Flint ist ein Kieselsäuregestein in der Kreide"** olvasható az **EN 932-3:1996 illetve MSZ EN 932-3:1998** szabványban [3]. A tűzkő a kréta mállása után visszamaradt, alakja szemcsés, átmérője néhány cm, ezért tűzkőgumónak nevezik. Gömbölyű alakja, nagy keménysége, kopásállósága folytán külföldön beton-adalékanyagnak is használják. Használják továbbá golyósmalmokban őrlőtestként, flintüveg készítés alapanyagául, útépítéshez, stb. A kőkorszak embere főleg tűzkőből és szarukőből készítette szerszámait. [2]

**Kovás mészkő** (Kieselkreide): A kovás mészkő megnevezés a magyar szakirodalomban nem igen vagy ritkán fordul elő. Jelentésének a német irodalomban bukkantunk nyomára, ahol a "Kieselkreide" megnevezést a "neuburger Kreide" vagy "neuburger Weiß" szinonimájaként használják [8]. E könyvben azt írják, hogy a kovás mészkő tulajdonképpen nem mészkő, mert mintegy 90%-ban kovasavból (Kieselsäure) áll, és ezért inkább lisztszerű finomhomoknak kell tekinteni. Többnyire durvább homokokból képződött, amelybe a jura idején a durva mészkő fészekszerűen betelepedett. A német homokvidékeken számos ilyen "krétafészek" (Kreidenest) fordul elő. Ha a homokszemek a mészkőbe gazdagon beágyazódtak, akkor a kőzet a mész kioldódása után is szilárd marad, míg csekély beágyazódottság esetén szétesik, és a kovasav, mint oldhatatlan maradék vándorútra indul. A "neuburgi fehér"-et fémtisztítószerként és festék, különösen ultramarinkék előállítására használják. A francia Alpokban található kovás mészkő kálilúgban oldódó kovasav tartalma 0,6 tömeg%, a kálilúgban oldhatatlan kovasav tartalma 89,1 tömeg%, víz és szerves tartalma 3,8 tömeg%, agyag és vas-oxid tartalma 6,5 tömeg%. Természetesen kérdés, hogy a fent leírtak mennyiben fedik az MSZ CR 1901:2000 CEN jelentés német fejezetében [9] illetve a DAfStb Alkali-Richtlinie [10] német vasbeton irányelvben szereplő, mint alkálifém-oxid - szilikát reakcióra hajlamos kovás mészkő fogalmát.

## Alkálifém-oxid - szilikát reakció

Utólagos megjegyzés

Az alkálifém-oxid - szilikát reakció kovasav kőzetek (magmás, laza és összeálló törmelékes, átalakult kőzetek) esetén léphet fel, ha az azokban levő alkáliérzékeny kovasavtartalmú részecskék - például az opál, vagy esetleg a kalcedon ásványokban lévő oldható kovasavalkotók (nem kristályos, amorf szilikátok ún. hidrogélek) - a cementkő alkálifém-hidroxidjaival alkálifém-szilikátoldatok képződése mellett reagálnak. Ekkor meg nem szilárduló, gélszerű, vízfelvételre és duzzadásra hajlamos alkálifém-metaszilikát (nátrium esetén vízüveg) keletkezik [1], és jelenik meg a repedések mentén a felületen, ahol M az alkálifém, nevezetesen Na, ill. K:

$$SiO_2 + n.H_2O + 2.M(OH) \rightarrow M_2SiO_3.(n-x+1).H_2O + x.H_2O$$

## Alkálifém-oxid - karbonát (alkálifém-oxid - dolomit) reakció

Az alkálifém-oxid - karbonát (alkálifém-oxid - dolomit) reakció egyes meszes vagy agyagos-kovás-meszes dolomitok esetén fordulhat elő [11], [12]. Erre hajlamos kőzetek például az USA-ban, Kanadában, Irakban, Németországban, Lengyelországban fordulnak elő. A reakciónak két változata ismert:

A *duzzadásos alkálifém-oxid - dolomit reakció* során a dolomit adalékanyag kalcium-magnézium-karbonátja és a cementkő alkálifém-hidroxidja egymásra hatásából alkálifém-karbonát, magnézium-hidroxid (brucit) és kalcium-karbonát keletkezik:

$$CaMg(CO_3)_2 + 2.M(OH) \rightarrow M_2CO_3 + Mg(OH)_2 + CaCO_3$$

A keletkezett alkálifém-karbonát a cementkő kalcium-hidroxidjával reagálva cserebomlás útján kalcium-karbonát keletkezése mellett alkálifém-hidroxiddá alakulhat vissza [1]:

$$M_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2.M(OH) + CaCO_3$$

A kalcium-karbonát a cementkő alkálifém-hidroxidjának és víznek a jelenlétében kalcium-alkálifém-karbonáttá alakul, amit az előbbi reakciót tápláló kalcium-hidroxid keletkezése kísér:

$$2.CaCO_3 + 2.M(OH) \rightarrow CaM_2(CO_3)_2 + Ca(OH)_2$$

Ezáltal kedvezőtlen esetben az alkálifém-oxid - dolomit reakció a teljes átalakulásig folytatódhat.

# UTÓLAGOS MEGJEGYZÉS

## a „Beton-adalékanyagok alkáli reakciója” című dolgozathoz

A beton-adalékanyagok alkáli — szilikát reakcióját, illetve alkálifém-oxid — szilikát reakcióját a

német: Alkali-Kieselsäure-Reaktion

angol: Alkali-silica aggregate reaction

francia: Réaction alcali-silice

kifejezések alapján az

MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz

MSZ EN 13139:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) habarcshoz

című európai szabványok magyar nyelvű verziói **alkáli-kovasav reakció**-nak nevezik.

Fogalom-meghatározások:

Szilika: Amorf szilícium-dioxid (amorf $SiO_2$), amorf víztelenített kovasav, amorf kovasav-anhidrid

Szilikát: Szilícium-n-oxidot ($SiO_n$) tartalmazó kőzetalkotó ásványok elnevezése, kovasavak sói

Kovasavak: Szilícium ásványai ($H_4SiO_4$, $H_2SiO_3$), amelyek sóit szilikátoknak nevezzük.

Budapest, 2006. június 7.

Más nézetek (*Gillott*) szerint a dolomit magnézium-vesztése nem oka a duzzadásnak, hanem csak a reakció kezdeményezője és gyorsítója, a duzzadásért az alkálifém-hidroxidokkal reakcióba lépő agyagos komponens felelős. A kőzet duzzadásos alkálifém-oxid - dolomit reakció veszélyét a modellhatásnak kitett beton vagy kőanyag próbatest duzzadásával vizsgálják [12]. Az utóbbi eljárás leírása például az ASTM C 586 [13] és az egykori CSN 72 1160 csehszlovák szabványokban található meg, minőségi követelményt az egykori CSN 72 1511 szabvány tartalmaz [11].

A *szilárdság-csökkenéses alkálifém-oxid - dolomit reakció* oka *Lemish* feltevése szerint az agyagos komponensben lévő szilícium-dioxid vándorlása a szemcse közepéről annak peremére, ahol lecsapódik. A szemcsék peremén kovásodott réteg csökkenti a cementkőhöz való tapadást és ezáltal a beton szilárdságát. A jelenség vizsgálatára *Hadley* fejlesztett ki módszert [12].

Az alkálifém-oxid - dolomit reakció változatai esetén reakció termékek a felületen nem jelennek meg.

## Az alkáli reakció kialakulásának feltételei

### A cement minőségének hatása az alkálifém-oxid reakció kialakulására

Az alkálifém-oxid reakció az alkálifém-oxid dús cementekkel készített betonok esetén jöhet létre. A cementek alkálifém-oxid tartalmát nátrium-oxid egyenértékben szokták kifejezni:

$$Nátrium-oxid\ \ egyenérték\ \ = \ = \ Na_2O\ \ tartalom\ \ [tömeg\%] \ + \ 0{,}658 * K_2O\ \ tartalom\ \ [tömeg\%]$$

A kálium-oxid tartalom 0,658 értékű szorzója a nátrium-oxid és a kálium-oxid molekulasúlyainak hányadosaként adódik: 61,979/94,203 = 0,658.

Irodalmi adatok szerint külföldi szerzők elsősorban az alkálifém-oxid - szilikát reakció vizsgálata során arra az eredményre jutottak, hogy a kis alkálifém-oxid tartalmú cementek még az alkálifém-oxid reakcióra hajlamos adalékanyagokkal sem okoznak duzzadást. Kis alkálifém-oxid tartalmúaknak azokat a tiszta portlandcementeket és 50 tömeg %-nál kevesebb kiegészítő anyagot tartalmazó heterogén portlandcementeket tekintik, amelyek nátrium-oxid egyenértéke a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg [11]. Ezzel a követelménnyel lényegében összhangban van a MÉASZ ME-04.19:1995 "Beton és vasbeton készítése" című műszaki előírás 11. fejezete ("Alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakciónak ellenálló betonok") is, amely azonban például 35-65 tömeg% kohósalak-tartalmú portlandcement esetén 1,2 tömeg% nátrium-oxid egyenértéket enged meg [14].

Hazai tiszta, kohósalak- és pernye-portlandcementjeink (450 pc, 350 kspc, 350 ppc) nátrium-oxid egyenértéke a SZIKKTI 15 cementféleségen végzett vizsgálatai szerint az 1970-1980 években 0,35-0,80 tömeg% volt [11]. Abban az időben cementjeinket nedves eljárással gyártották (a nyersanyagok őrlése víz jelenlétében, nedves őrléssel történt, és a klinkerégető forgókemencébe meghatározott összetételű nyersanyagkeveréket, ún. nyersiszapot adagoltak).

Azóta a hazai cementgyárak többsége áttért a nedves gyártásnál korszerűbb száraz gyártási eljárásra (a nyersanyagokat körfolyamatos üzemű malmokban szárítva őrlik, és a klinkerégető forgókemencébe homogenizált nyerslisztet illetve granulátumot adagolnak), ami az így gyártott cementek alkálifém-oxid tartalmának növekedésével jár [15], [20]. Ez egyrészt a nyersiszap és a nyersliszt égetéskori eltérő viselkedésének, másrészt a megváltozott filter-technológiának a következménye. A mai magyar tiszta, kohósalak- és pernye-portlandcementek (CEM I 42,5; CEM II-S 32,5; CEM II-V 32,5) nátrium-oxid egyenértéke 0,55-1,05 tömeg% [1], más adatok szerint 0,62-1,11 tömeg% [20].

A cementek alkálifém-oxid tartalmát a cementgyárak a napi gyakorlat számára nem vizsgálják. Kutatási eredmények alapján az alkálifém-oxid reakciónak kitett szerkezetekhez kedvezőnek látszik a szulfátálló portlandcement (például a nedves eljárással gyártott lábatlani S-54 350 pc, azaz CEM I 32,5 S) és egyes kohósalak-portlandcementek (váci 350 kspc, azaz CEM II-S 32,5) alkalmazása [1], [11].

**A beton cement-tartalmának hatása az alkálifém-oxid reakció kialakulására**

Irodalmi közlések szerint az alkálifém-oxid reakció 400 kg/m$^3$ cement-tartalom alatt nem fejlődik ki [11]. A 400 kg/m$^3$-nél kevesebb cementet tartalmazó betonok nyomószilárdsági osztálya csak ritkán haladja meg az MSZ EN 206-1:2001 szabvány [17] szerinti C 16/20 értéket. A C 16/20 vagy kisebb nyomószilárdsági osztályú betonban tehát az alkálifém-oxid reakció kialakulásának valószínűsége csekély.

**Az adalékanyag minőségének hatása az alkálifém-oxid reakció kialakulására**

Az **alkálifém-oxid - szilikát reakció** tekintetében az eddigi tapasztalatok és beton duzzadási kísérletek alapján úgy tűnik, hogy a hazánkban található, túlnyomórészt kvarcanyagú **homokos kavics adalékanyag** az alkálifém-oxid reakcióra nem, vagy csak kevéssé érzékeny. Újabban vannak olyan kísérleti eredmények, amelyek óvatosságra intenek, és ezért időjárásnak kitett vasbeton szerkezetek építése esetén a homokos kavics adalékanyagot alkálifém-oxid reakció szempontjából ellenőrizni célszerű [1]. Különösen a folyami homokos kavicsok érdemelnek figyelmet, mert azok ásványtani összetétele az idők folyamán változhat. A **mélységi kőzetek** (például gránit) és a **kiömlési kőzetek** (például riolit, dácit, andezit, bazalt, diabáz, fonolit), mint zúzottkő adalékanyagok alkálifém-oxid - szilikát reakció veszélyéről csak ritkán szól az irodalom [20].

Az **alkálifém-oxid - dolomit reakció** tekintetében az egykori CSN 72 1511 csehszlovák szabvány szerint azok a dolomitok mutatnak csekély hajlamot az alkáli reakcióra, amelyek dolomit-ásvány {$CaMg(CO_3)_2$} tartalma legalább 90 tömeg% és kalcit ($CaCO_3$) tartalma legfeljebb 10 tömeg%. Minthogy analitikai módszerekkel a dolomit-ásvány és a kalcit tartalom a kőzet izzítási maradékán meghatározott kalcium-oxid és magnézium-oxid tartalomból számítható, a CSN 72 1511 szabvány megjegyzésként közli, hogy az alkáli reakciónak ellenálló dolomit kalcium-oxid tartalma 30,4-32,9 tömeg%, a magnézium-oxid tartalma 19,6 - 21,9 tömeg% között kell, hogy legyen. A magnézium-oxid tartalom 19,67 tömeg %-os alsó határértéke a dolomit-ásvány tartalom 90 tömeg%-os alsó határértékéhez tartozik. Ha a dolomitot 100 tömeg %-ban dolomit-ásvány alkotja, akkor a magnézium-oxid tartalom 21,86 tömeg %. A kalcium-oxid tartalomra azért nem lehet követelményt megadni, mert a kalcit tartalom nemcsak a kalcium-oxid mennyiségének, hanem a magnézium-oxid mennyiségének is függvénye. A kalcium-oxid tartalom fenti számértékeit ezért nem lehet követelményként kezelni, míg a magnézium-oxid tartalomra vonatkozó számértékeket követelményként lehet kezelni. Helyen ezért, ha a dolomit alkáli reakció érzékenységének megítéléséhez csak a magnézium-oxid tartalomra vonatkozóan hozunk feltételeket [11].

A SZIKKTI-ben az 1970-es években végzett kémiai elemzések szerint a Pilis (5 kőbánya), a Bakony (23 kőbánya), Vértes-Gerecse (17 kőbánya) hegységekbeli vizsgált, nem csak működő kőbányák dolomit előfordulásainak magnézium-oxid tartalma két alsó szélső értéket adó esettől elvonatkoztatva 17,67-21,82 tömeg% között változik. A 17,67 tömeg%-os magnézium-oxid tartalom 80,84 tömeg% dolomit-ásvány tartalomnak felel meg. Ez a körülmény arra figyelmeztet, hogy hazai dolomitjaink között is lehetnek olyanok, amelyek kémiai összetétele az alkálifém-oxid - dolomit reakció szempontjából kedvezőtlen [11]. Erre teljes bizonyossággal a későbbiekben végzett közvetlen dolomit-duzzadás vizsgálatok sem adtak egyértelmű választ.

**A környezet hatása az alkálifém-oxid reakció kialakulására**

Az alkálifém-oxid reakció évek során, nedves környezetben következhet be. A magasépítési, időjárástól védett betonok alkálifém-oxid reakciója valószínűtlen. A víznek, fagynak, esetleg sózásnak kitett mélyépítési, és egyes, időjárásnak kitett magasépítési vasbeton szerkezeteknél azonban nem lehet kizárni ezt a korróziós veszélyt, ha kialakulásának egyidejűleg az adalékanyag és a hidratált cement összetétele is kedvez [1]. Az alkálifém-oxid reakció meleg hatására felgyorsul.

## Szabályozás

Az alkálifém-oxid reakcióra vonatkozó hazai szabályozás a **MÉASZ ME-04.19:1995** "Beton és vasbeton készítése" című műszaki előírásban található. Ennek 11. fejezete - mint már említettük - az alkálifém-oxid - kovasav és az alkálifém-oxid - karbonát reakciónak ellenálló betonokkal foglalkozik [14].

Az európai szabványok sorában az **EN 1744-2** "Kőanyaghalmazok kémiai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Alkáli reakcióval szembeni ellenállás vizsgálata" című szabvány tárgyalja a témakört a kőanyagok vizsgálata szempontjából [16]. A szabvány tartalma nem ismert, még előszabvány (prEN) formájában sem tették közzé, így honosítása is várat magára.

Az **MSZ EN 206-1:2001** "Beton. 1. rész: Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség" című európai szabvány 5.1.3. fejezete [17] általában a prEN 12620:2000 európai előszabványnak megfelelő normál és nehéz adalékanyagokat tekinti alkalmasnak beton készítés céljára.

A prEN 12620:2000 európai előszabványnak jelenleg a **prEN 12620:1996** "Beton adalékanyagok, beleértve az útépítési és burkolati betonok adalékanyagát" című változata áll rendelkezésre, amely az F. mellékletben foglalkozik az alkálifém-oxid reakcióval [18]:

"Bizonyos kőanyagszemek képesek a beton pórusvízében lévő alkálifémekkel reagálni. Kedvezőtlen feltételek mellett és nedvesség jelenlétében ez duzzadáshoz, majd repedésképződéshez vagy a beton tönkremeneteléhez vezet. Ennek a reakciónak leggyakrabb formája az alkálifémek és bizonyos kovasavak között lép fel (alkálifém-oxid - szilikát reakció). A reakció másik, ritkábban jelentkező formája az alkálifém-karbonát reakció.

A cement és az adalékanyag meghatározott kombinációjával, a duzzadási reakció megelőzése tekintetében szerzett hosszúidejű tapasztalat hiányában, szükséges lehet a következő óvintézkedések egyikét foganatosítani:

- a betonkeverék összes alkálifém tartalmának korlátozása;
- (különleges) cement felhasználása, amelynek reakcióképes alkálifém tartalma csekély;
- inert (kémiai reakcióba nem lépő) adalékanyag alkalmazása;
- a beton nedvességtartalmának korlátozása.

Ha ezeknek a módszereknek egyike sem alkalmazható, akkor az adalékanyag és cement kombinációját a nemzeti szabványokban leírt eljárások szerint lehet megítélni."

A prEN 12620:1996 európai előszabvány J. melléklete szerint a beton-adalékanyag jellemzéséhez, ha a körülmények és a felhasználási cél szükségessé teszi, akkor az igényeknek megfelelően meg kell adni az alkálifém-oxid reakcióval szembeni ellenállást is.

Visszatérve az **MSZ EN 206-1:2001** európai szabványra[17], annak 5.2.3.4. fejezete az alkálifém-oxid - szilikát reakcióval kapcsolatban azt írja, hogy "amikor az adalékanyag olyan kovasav-változatokat tartalmaz, amelyek hajlamosak

lehetnek a cementből és más forrásokból származó alkáliákkal ($Na_2O$ és $K_2O$) való reakcióra, és a beton nedves környezetnek van kitéve, akkor megfelelőnek bizonyult eljárások segítségével meg kell akadályozni a káros alkáli-kovasav reakciót,... óvintézkedéseket kell alkalmazni, figyelembe véve a cement és az adalékanyag adott kombinációjával szerzett, hosszú időtartamra terjedő tapasztalatokat. A különböző európai országokban érvényes ilyen óvintézkedéseket a CEN Report CR 1901 foglalja össze" (*Dr. Ujhelyi János* kandidátus úr fordítása alapján).

*Az **MSZ CR 1901:2000*** "Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli-kovasav reakció okozta károsodásának elkerülésére" című CEN Report (Jelentés) jóváhagyó közleménnyel, angol nyelven honosításra került [9]. Ez a jelentés azon CEN tagtestületek vonatkozó nemzeti előírásainak gyűjteménye, amelyek ilyent készítettek. Tartalmazza a belga, dán, francia, német, izlandi, ír, olasz, holland, norvég, portugál, svéd, angol - egymástól olykor terjedelemben és tartalomban is eltérő - előírásokat. Nem készített előírást az osztrák, cseh, finn, görög, luxemburgi, spanyol, svájci tagtestület.

Példaként tekintsük át az MSZ CR 1901:2000 CEN jelentésben [9] lévő németországi fejezetet, amely lényegében egybevág a DAfStb Alkali-Richtlinie [10] német vasbeton alkáli reakció irányelvben foglaltakkal, amelyre a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 11. fejezete [14] is utal.

Az MSZ CR 1901:2000 CEN jelentés [9] német fejezete és a DAfStb Alkali-Richtlinie német irányelv [10] az alkálifém-oxid - szilikát reakcióval foglalkozik, és Németország alkálifém-oxid érzékeny opál-homokkő, kovás mészkő, flint, grauwacke előfordulásainak zónáját a következő térképvázlaton jelöli meg:

A térképre kattintva az kinagyítható.

Az adalékanyagot alkálifém-oxid reakció szempontjából az alkálifém-oxid érzékeny kőzetalkotók mennyisége és a környezeti hatások (száraz, nedves, külső alkálifém-oldat terhelésű környezet) függvényében csoportokba sorolják. Az adalékanyag alkálifém-oxid - szilikát reakcióra nem veszélyes, ha egyidejűleg

- az 1 mm szemnagyság feletti opál-homokkő és egyéb opál tartalmú kőanyag tartalma, beleértve az 1-4 mm szemnagyság közötti reakcióképes flint tartalmat is $< 0,5$ tömeg%,
- a 4 mm szemnagyság feletti reakcióképes flint tartalma $< 3,0$ tömeg%,
- az opál-homokkő és egyéb opál tartalmú kőanyag tartalmának ötszöröse és a reakcióképes flint tartalma $< 4,0$ tömeg%.

Anwendungsbereich für Opalsandstein (incl. Kieselkreide) und Flint

Angrenzender Bereich

Gewinnungsgebiet präkambrischer Grauwacke

Opál-homokkő, kovás mészkő, flint

Határos terület

Grauwacke

Ostsee

Nordsee

Flensburg

Kiel

Lübeck

Rostock

Stralsund

Cuxhaven

Hamburg

Schwerin

Neubrandenburg

Papenburg

Oldenburg

Bremen

Wolfsburg

Uelzen

Salzwedel

Frankfurt / O.

Berlin

Hannover

Braunschweig

Osnabrück

Magdeburg

Dessau

Elster

Cottbus

Bautzen

Rothenburg

Leipzig

Dresden

Weimar

Zwickau

Az opál-homokkő tartalom és a flint tartalom meghatározására a MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 11. fejezete [14] ismertet eljárást.

Ha az építmény környezete nedves és az opál tartalmú adalékanyag alkálifém-oxid - szilikát reakcióra érzékeny, akkor a német előírások [9], [10] ezek mértékének függvényében, a beton nyomószilárdsági osztályát (B35 [DIN 1045] = C 20/25 [EN 206-1] alatt vagy felett) és cement tartalmát (330 kg/m$^3$ alatt vagy felett) is fegyelembe véve, kis alkálifém-oxid tartalmú cementek (NA-Zement) alkalmazását javasolják. A DIN 1164-1:1994 német szabvány szerinti kis alkálifém-oxid tartalmú CEM I és CEM II jelű portlandcementek nátrium-oxid egyenértéke ≤ 0,6 tömeg%, a CEM III jelű kohósalakcementeké a kohósalak tartalomtól függően legfeljebb ≤ 2,0 tömeg%.

A grauwacke adalékanyaggal kapcsolatban a német előírásokban illetve irodalomban [19] az opál tartalmú adalékanyagoktól kissé eltérő határértékeket lehet találni. Grauwacke esetén az alkálifém-oxid reakció megelőző intézkedéseket például 300, 350, 380 kg/m$^3$ cement tartalomhoz kötik.

Az alkálifém-oxid reakció kialakulására a keverővíz, az adalékszerek, a kiegészítő-anyagok minősége is veszélytelen kell, hogy legyen.

Az **ASTM C 227:1990, C 289:1987, C 441:1989, C 586:1992** amerikai szabványok alkálifém-oxid reakció vizsgálati módszereit a **MÉASZ ME-04.19:1995** műszaki előírás 11. fejezete [14] kivonatosan ismerteti.

## Befejezés

**A beton-adalékanyagok alkálifém-oxid reakciója Magyarországon szerencsére eddig nem, vagy csak szórványosan tapasztalt,** de külföldön ismert jelenség, amelynek kifejlődése igen lassú, ezért hazai kialakulásának veszélyét feltétlenül szükséges tanulmányoznunk [20], [21]. Kétségtelen, hogy környezetünk állandóan változik, és ha a hazai adalékanyagok zömének ásványtani összetétele várhatóan nem is változik, de a környezet állapota, egyes folyami homokos kavicsok összetétele, és cementek minősége módosulhat, ami bizonyos esetekben az alkálifém-oxid reakció szempontjából akár kedvezőtlen is lehet. Mégis reméljük, hogy a jövőbeni, esetleges környezeti és technológiai változások a magyar betontechnológusokat nem állítják nehéz próbatétel elé.

## Irodalom

**[1]** *Balázs György*: Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája. I. kötet. Általános diagnosztikai vizsgálatok. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 1997.

[2] *Vendl Aladár:* Geológia. I. kötet. Tankönyvkiadó. Budapest, 1953.

[3] EN 932-3:1996 és MSZ EN 932-3:1998 Kőanyaghalmazok általános tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: Eljárás és nevezéktan az egyszerűsített kőzettani leíráshoz

[4] *Kleinschrodt, R.*: Polarisationsmikroskopie am Institut für Mineralogie und Geochemie. Universität Köln. Internet oldal: http://peridot.min.uni-koeln.de/reinersworld/polmik/pmstart.htm

[5] *Vincze László*: Geolexikon 4.1; Földtani adatbázis. CD-ROM. Zalaegerszeg, 2000.

[6] Pallas Nagy Lexikona. Pallas Rt. Budapest, 1893-1897.

[7] Révai Nagy Lexikona. Révai Testvérek Rt. Budapest, 1911-1916.

[8] *Dienemann, W. - Burre, O.*: Die nutzbaren Gesteine Deutschlands. I. Band. Verlag von Ferdinand Enke in Stuttgart, 1928.

[9] MSZ CR 1901:2000 Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli-kovasav reakció okozta károsodásának elkerülésére. CEN Jelentés. (Jóváhagyó közleménnyel bevezetve, angol nyelven.)

[10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie "Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie)". 1997.

[11] *Puskásné Hőgyes Irén:* A dunántúli dolomitok alkalmassága építési célra. Építőanyag, XXX. évfolyam. 1978. 8. szám. p. 307-314.

[12] *Kazimir, Julius*: Karbonátos betonadalékanyag kémiai állandóságának vizsgálata. Építőanyag, XXX. évfolyam. 1978. 8. szám. p. 304-306.

[13] ASTM C 586:1975 Potential alkali reactivity of carbonate rocks for concrete aggregates (Rock cylinder method)

[14] MÉASZ ME-04.19:1995 Beton és vasbeton készítése. Műszaki előírás. 11. fejezet. Alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakciónak ellenálló betonok.

[15] *Riesz Lajos*: Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.

[16] EN 1744-2 Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil: 2. Bestimmung des Widerstands gegen alkalische Reaktion

[17] MSZ EN 206-1:2001 Beton. 1. rész: Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség.

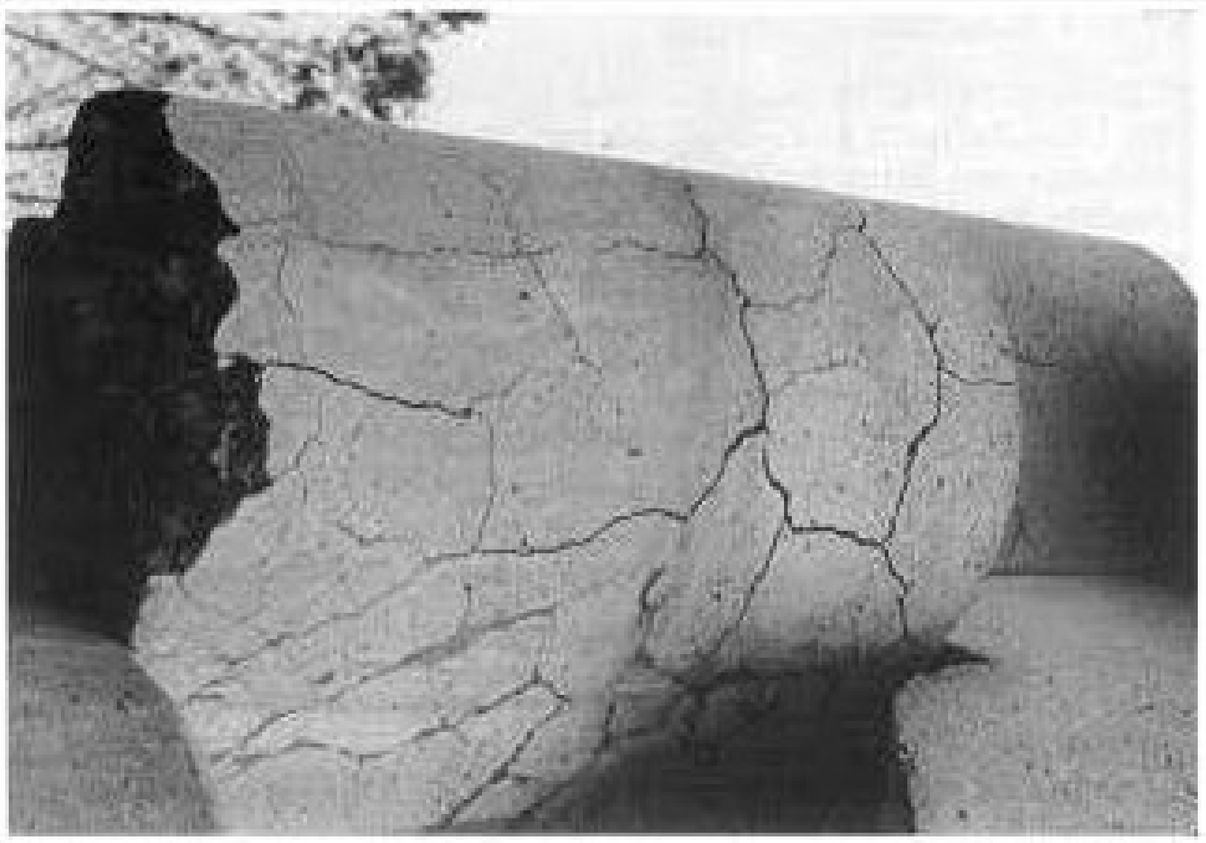
[18] prEN 12620:1996 Gesteinskörnungen für Beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten

[19] *Knoblauch, H.*: Baustoffkenntnis. Werner Verlag GmbH. Düsseldorf, 1999.

[20] *Révay Miklós*: Az adalék-alkáli reakció, az adalék-alkáli korrózió valószínűsége hazánkban. Betonszerkezetek tartóssága. Konferencia kiadvány. Műegyetemi kiadvány. Budapest, 1996. p. 187-198.

[21] *Mádi András*: Alkáli korróziós vizsgálatok tapasztalatai a szegedi Északi Tisza-híd előregyártott vasbeton gerendáin. Beton. VI. évf. 1998. június. p. 18-21.

Repedések alkálifém-oxid - szilikát reakció következtében:

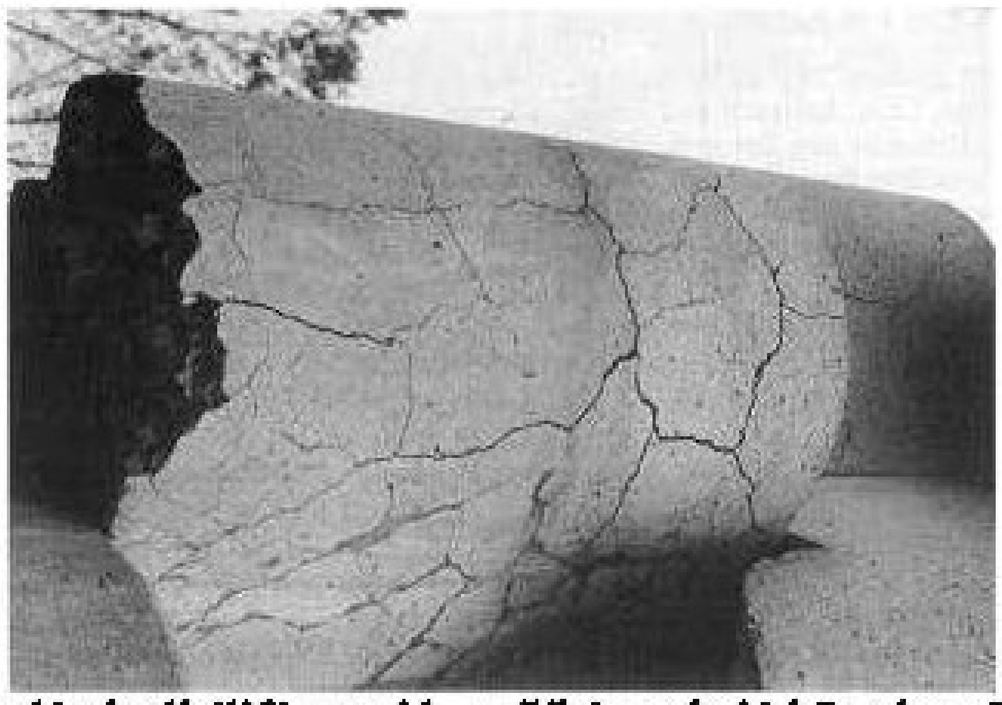
<table>
<tr>
<td>  </td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td>Forrás: Deutscher Beton-Verein E.V.: “Beton-Handbuch” (A kiadás éve ismeretlen). A http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/alkaliloe.htm alapján.</td>
<td>Forrás: Durability of Concrete Construction. ACI Monograph No. 4. Woods, H, 1968.5.2. Az [1] irodalom alapján.</td>
</tr>
</table>

**Vissza a**

***Noteszlapok abc-ben*** ***Noteszlapok tematikusan***

**tartalomjegyzékhez**

| | | |
|---|---|---|
| | **Alkálifém-oxid reakció**<br>**Nevezik egyszerűen**<br>**alkáli reakciónak is.** | |
| **Németül:** | **Alkali-Reaktion** | |
| **Angolul:** | **Alkali reaction** | |
| **Franciául:** | **Alcali-réaction** | |
| | **Alkáli szilikát reakció** | |
| **Németül:** | **AKR = Alkali-Kieselsäure-Reaktion** | |
| **Angolul:** | **ASR = Alkali silica reaction** | |
| **Franciául:** | **AAR = Alcali-agrégat-réaction** | |



**Repedések alkálifém-oxid - szilikát reakció következtében.**
**Forrás: Deutscher Beton-Verein E.V.: "Beton-Handbuch"**
**(A kiadás éve ismeretlen).**
**A http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/alkaliloe.htm web-oldal alapján**

**Egyes beton-adalékanyagok és az alkálifém-oxid dús cementek hidratációs termékében levő alkálifém-hidroxidok beépülési, vagy csere-bomlásának a megnevezése. A reakció a szilárd betonban kedvezőtlen körülmények hatására, hosszú évek alatt fejlődhet ki. Térfogat-növekedéssel, a beton összerepedezésével, szilárdság-csökkenésével jár, a beton felületén reakció-termékek jelenhetnek meg. Az ilyen betont javítani nem lehet.**

**Az alkálifém-oxid reakciónak két alapvetően különböző változata van.**

**Az alkálifém-oxid - szilikát reakció kovasav kőzetek (magmás, laza és összeálló törmelékes, átalakult kőzetek) esetén léphet fel, ha az azokban levő alkálifém-oxid érzékeny kovasavtartalmú részecskék - például az opál, vagy esetleg a kalcedon ásványokban lévő oldható kovasavalkotók (nem kristályos, amorf szilikátok ún. hidrogélek) - a cementkő alkálifém-hidroxidjaival alkálifém-szilikátoldatok képződése mellett reagálnak.**

**Az alkálifém-oxid - karbonát (alkálifém-oxid - dolomit) reakció egyes meszes vagy agyagos-kovás-meszes dolomitok esetén fordulhat elő. Két alfaja ismert: A *duzzadásos alkálifém-oxid - dolomit reakció* során a dolomit adalékanyag kalcium-magnézium-karbonátja és a cementkő alkálifém-hidroxidja egymására hatásából alkálifém-karbonát, magnézium-hidroxid (brucit) és kalcium-karbonát keletkezik, és kedvezőtlen esetben a reakció a teljes átalakulásig folytatódhat. A *szilárdság-csökkenéses alkálifém-oxid - dolomit reakció* oka az agyagos komponensben lévő szilícium-dioxid vándorlása az adalékanyag szem közepéről annak peremére, ahol lecsapódik. A kovásodott réteg csökkenti a cementkőhöz való tapadást és ezáltal a beton szilárdságát.**

**Az alkálifém-oxid reakció elkerülhető, ha az alkalmazott portlandcement nátrium-oxid egyenértéke a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg, a cement mennyisége kevesebb mint 400 kg/m$^3$, ha a kovasavtartalmú**

adalékanyag nem tartalmaz alkálifém-oxid érzékeny részecskéket, ha a dolomit adalékanyag dolomit-ásvány tartalma több, mint 90 tömeg%, ha a beton környezete száraz és hőmérséklete nem magas.

Az alkálifém-oxid reakció elsősorban az USA-ban, Kanadában, Irakban, Németországban, Lengyelországban fordul elő, magyarországi előfordulása egyértelműen nem bizonyított, illetve eddig szórványos volt. Kedvezőtlen anyagtani, betontechnológiai, környezeti változások elősegíthetik fellépését hazánkban is.

Lásd még a Noteszlapok "Beton-adalékanyagok alkáli reakciója" című oldalát.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. július-augusztus havi számának 12. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

## BETONADALÉKANYAGOK APRÓZÓDÁSI CSOPORTJA

Az aprózódási csoport a kavics, zúzottkő, zúzottkavics és újrahasznosított vagy visszanyert durva betonadalékanyagoknak a Los Angeles és a vizes mikro-Deval aprózódási veszteségét együtt kifejező halmazszilárdsági (fizikai-mechanikai) jellemző.

Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a hazai nevezéktannal ellentétben, a bevezetett európai szabványokban a mikro-Deval aprózódási vizsgálatot kopásállósági vizsgálatnak nevezik (például: MSZ EN 1097-1 „Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval)".

Az adalékanyagok aprózódási tulajdonságának fogalma a kőzetfizikai tulajdonság fogalmának származéka, amely utóbbi elsősorban az in situ kőanyagokból feldolgozott zúzott termékek anyagtani sajátságát írta le. Az építési gyakorlatban kőzetfizikai tulajdonság alatt általában a zúzottkő és zúzottkavics termékek azon aprózódási (Los Angeles, Deval, mikro-Deval) és időállósági (szulfátos kristályosítás) tulajdonságai értendők, amelyeknek kőzetfizikai csoportba foglalva – a visszavont MSZ 1992:1970, MSZ 18291:1978, MSZ-07-3114:1991, MSZ 4798-1:2004 szabványban és az ugyancsak visszavont ÚT 2-3.601:1991, ÚT 2-3.601:1998, ÚT 2-3.601:2006, ÚT 2-3.601-2:2009, ÚT 2-3.710:2008 útügyi műszaki előírásban – termékminősítő, illetve termékjellemző szerepük volt. E szabványok és előírások visszavonásával, és lényegében az európai szabványok bevezetése következtében a kőzetfizikai csoport zúzottkő, illetve betonadalékanyag termékminősítő szerepe háttérbe szorult, voltaképpen megszűnt; jórészt talán azért, mert az adalékanyag szilárdsági tulajdonságát és időállósági tulajdonságát egy csoportban kezelte.

Ezt orvosolja az aprózódási csoport fogalmának hazai bevezetése, amely a kőzetfizikai csoport szűkítése által, immár az időállóságot megjelenítő magnézium-szulfátos kristályosítási tulajdonság nélkül, az adalékanyagoknak kizárólag a halmazszilárdsági jellemzője.

A betonadalékanyag (nem csak a zúzottkő vagy a zúzottkavics, hanem a kavics, az újrahasznosított vagy a visszanyert durva betonadalékanyag, sőt akár az aszfaltadalékanyag is) abba az aprózódási csoportba sorolható be, amelyben előírt követelményeknek a Los Angeles és a vizes mikro-Deval aprózódási vesztesége alapján egyidejűleg megfelel (*1. táblázat*).

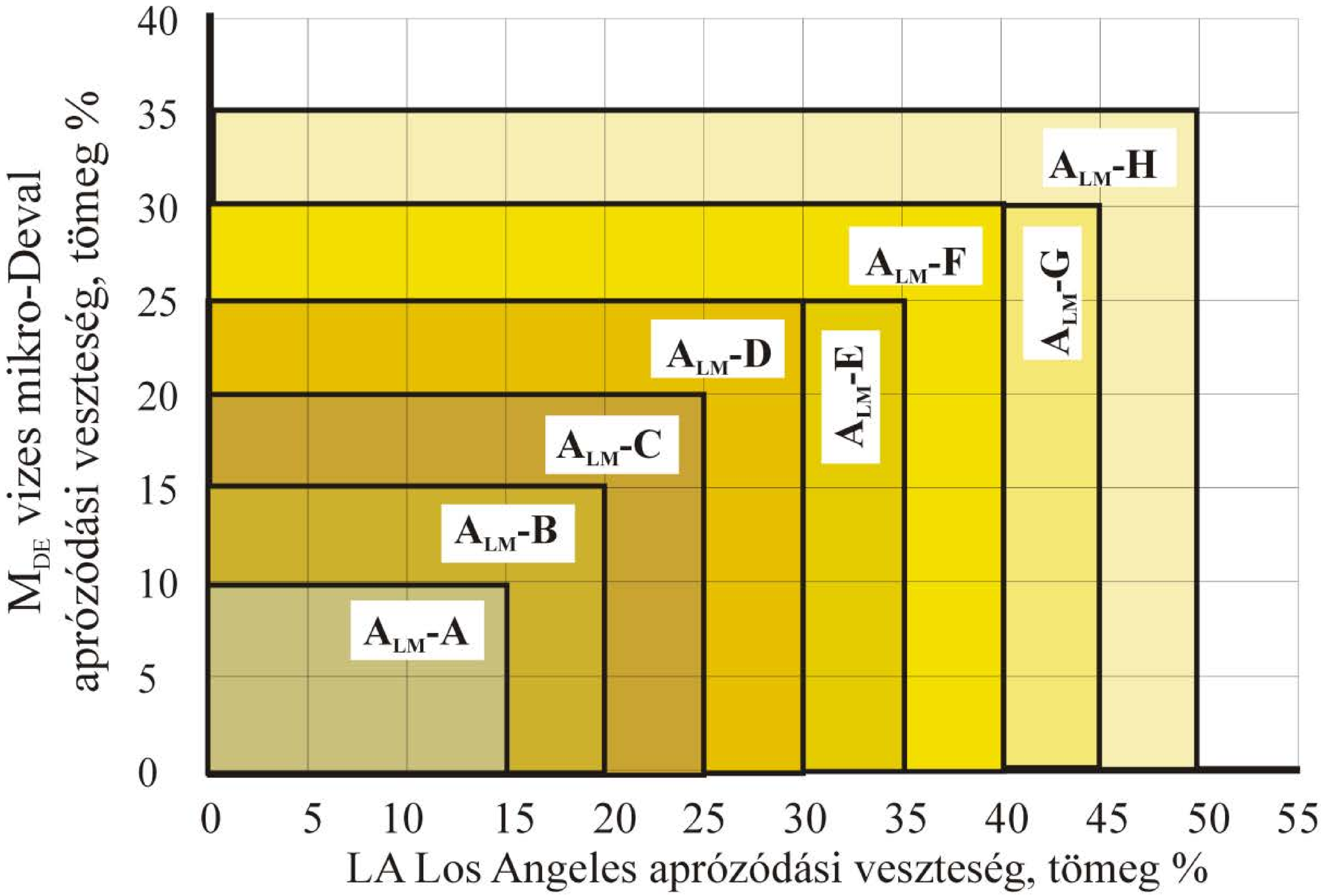
**1. táblázat:** A durva, 2000 kg/m$^3$-nél nagyobb testsűrűségű betonadalékanyag aprózódási csoportja alternatív-vizsgálat alkalmazásával

| Beton-adalékanyagok aprózódási csoportja | Los Angeles aprózódás alternatív-vizsgálattal | | Vizes mikro-Deval aprózódás alternatív-vizsgálattal | |
|---|---|---|---|---|
| | Los Angeles aprózódási osztály | Los Angeles aprózódási veszteség, tömeg% | Mikro-Deval aprózódási osztály | Mikro-Deval aprózódási veszteség, tömeg% |
| $A_{LM}$-A | $LA_{15}$ | $\leq 15$ | $M_{DE}10$ | $\leq 10$ |
| $A_{LM}$-B | $LA_{20}$ | $15 <$ és $\leq 20$ | $M_{DE}15$ | $10 <$ és $\leq 15$ |
| $A_{LM}$-C | $LA_{25}$ | $20 <$ és $\leq 25$ | $M_{DE}20$ | $15 <$ és $\leq 20$ |
| $A_{LM}$-D | $LA_{30}$ | $25 <$ és $\leq 30$ | $M_{DE}25$ | $20 <$ és $\leq 25$ |
| $A_{LM}$-E | $LA_{35}$ | $30 <$ és $\leq 35$ | | |
| $A_{LM}$-F | $LA_{40}$ | $35 <$ és $\leq 40$ | $M_{DE}30$ | $25 <$ és $\leq 30$ |
| $A_{LM}$-G | $LA_{45}$ | $40 <$ és $\leq 45$ | | |
| $A_{LM}$-H | $LA_{50}$ | $45 <$ és $\leq 50$ | $M_{DE}35$ | $30 <$ és $\leq 35$ |

MEGJEGYZÉS:

Az alternatív aprózódási vizsgálatokat a 10-14 mm szemnagyságú vizsgálati mintán végzendő referencia-vizsgálatokkal ellentétben a *2., illetve 3. táblázat* szerinti vizsgálati jellemzőkkel kell végezni.

A durva, 2000 kg/m$^3$-nél nagyobb testsűrűségű betonadalékanyagok *1. táblázat* szerinti aprózódási csoportjait grafikus alakban az *1. ábrában* szemléltetjük.




**1. ábra:** Betonadalékanyagok aprózódási csoportjának mezeje és A, B, C stb. osztályba sorolása. Az aprózódási csoport jele: $A_{LM}$ (L = Los Angeles, M = mikro-Deval)

Termék-frakciók esetén az aprózódási veszteséget nem a kőzet-előfordulás in situ anyagán kell referencia-vizsgálattal, hanem magán a terméken kell alternatív-vizsgálattal meghatározni.

Az aprózódási csoportot alkotó alternatív Los Angeles és vizes mikro-Deval vizsgálat jellemzőit a *2. és 3. táblázat* tartalmazza.

A *4. táblázatban* az újrahasznosított és a visszanyert durva, 2000 kg/m$^3$-nél nagyobb testsűrűségű betonadalékanyag alkalmazásának megengedett mennyiségét az aprózódási csoport függvényében a mutatjuk be.

A kavics és a friss kavicsbetonból visszanyert mosott, osztályozott betonadalékanyagok Los Angeles és mikro-Deval aprózódási veszteségének megengedett mértékét a környezeti osztályok függvényében az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány NAD E1. táblázatában, a zúzottkő, a zúzottkavics, az újrahasznosított, a visszanyert tört és a friss zúzottkőbetonból visszanyert mosott, osztályozott betonadalékanyagok Los Angeles és mikro-Deval aprózódási veszteségének megengedett mértékét a környezeti osztályok függvényében az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány NAD E2. táblázatában szabályozták.

A betonadalékanyagok e dolgozatban ismertetett aprózódási csoportját a 4/2019. ÉpMI „Építési és bontási inert hulladékok feldolgozásából előállított kőanyaghalmazok alkalmazásának feltételei a magasépítésben” című építésügyi műszaki irányelvben alkalmazták.

**2. táblázat:** A durva, osztályozott betonadalékanyag Los Angeles vizsgálatának jellemzői alternatív-vizsgálat esetén

| Frakciók névleges szemnagysága mm | Vizsgálati szemnagyság mm | Vizsgálati minta tömege g | Golyók száma | Összes golyó tömege g | Összes fordulat száma |
|---|---|---|---|---|---|
| 4/8 | 4 – 8 | 5000 ± 5 | 7 | 2920 ± 15 | 500 |
| 4/12 | 4 – 8<br>8 – 12 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| 4/16 | 4 – 8<br>8 – 16 | 2500<br>2500 ± 10 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| 4/24 | 4 – 12<br>12 – 24 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| 8/12 | 8 – 12 | 5000 ± 5 | 9 | 3750 ± 20 | 500 |
| 8/16 | 8 – 12<br>12 – 16 | 2500<br>2500 ± 10 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| 8/24 | 8 – 16<br>16 – 24 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| 8/32 | 8 – 20<br>20 – 32 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| 12/16 | 12 – 16 | 5000 ± 8 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| 12/24 | 12 – 16<br>16 – 24 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| 16/24 | 16 – 24 | 5000 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| 24/32 | 24 – 32 | 10000 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |

**3. táblázat:** A durva, osztályozott betonadalékanyag mikro-Deval vizsgálatának jellemzői alternatív-vizsgálat esetén

| Frakciók névleges szemnagysága mm | Vizsgálati szemnagyság mm | Golyók tömege dobonként g |
|---|---|---|
| 4/8 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| 4/12 | 8 – 12 | 4500 ± 10 |
| 4/16 | Külön vizsgálandó a 4 – 8 és a 8 – 12 mm szemnagyságú részminta* | |
| 4/24 | Külön vizsgálandó a 4 – 12 és a 12 – 24 mm szemnagyságú részminta* | |
| 8/12 | 8 – 12 | 4500 ± 10 |
| 8/16 | Külön vizsgálandó a 8 – 12 és a 12 – 16 mm szemnagyságú részminta* | |
| 8/24, 8/32 | Külön vizsgálandó a 8 – 12 és a 12 – 24 mm szemnagyságú részminta* | |
| 12/16 | 12 – 16 | 5500 ± 10 |
| 12/24 | 12 – 24 | 6000 ± 10 |
| 16/24 | 16 – 24 | 6000 ± 10 |
| 24/32 | Nem vizsgálható, mert a mikro-Deval vizsgálati szemnagyság-tartomány felső határa 24 mm | |

* MEGJEGYZÉS: A frakcióból kiszitált részmintákat külön kell vizsgálni, és a részminták vizsgálati eredményének a részminták vizsgálati szemnagyságának a frakcióban lévő tömegaránya szerinti súlyozott átlagával kell a termék mikro-Deval aprózódását jellemezni.

Például, ha a 4/16 jelű frakcióban a 4-8 mm szemnagyságú szemek tömegaránya 42 tömeg% és a 8-16 mm szemnagyságú szemeké 58 tömeg%, és a 4/8 mm szemnagyságú részminta mikro-Deval aprózódási vesztesége $M_{DE}25^{4/8} = 21{,}7$ tömeg% és a 8/16 mm szemnagyságú részmintáé $M_{DE}20^{8/16} = 18{,}4$ tömeg%, akkor a 4/16 jelű frakció mikro-Deval aprózódási vesztesége:

$$M_{DE}20^{4/16} = \frac{42 \times 21{,}7 + 58 \times 18{,}4}{42 + 52} = 19{,}8 \text{ tömeg\%},$$

és a 4/16 jelű betonadalékanyag frakció mikro-Deval aprózódási osztálya: $M_{DE}20$.

**4. táblázat:** Az újrahasznosított és a visszanyert durva, 2000 kg/m$^3$-nél nagyobb testsűrűségű betonadalékanyag alkalmazásának megengedett mennyisége az aprózódási csoport függvényében

| A szokványos beton nyomószilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén, 28 napos korban, az MSZ 4798-1:2016 szabvány szerint, $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ | Az újrahasznosított és a visszanyert durva, 2000 kg/m$^3$-nél nagyobb testsűrűségű betonadalékanyag mértékadó aprózódási csoportja | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ① *KAVICSBETON* durva adalékanyagaként alkalmazott *friss kavicsbetonból visszanyert mosott, osztályozott* frakciók | | | | | | | |
| | ALM-C | ALM-D | ALM-E | ALM-F | ALM-G | ALM-H | — | — |
| | ② *KAVICSBETON* durva adalékanyagaként alkalmazott *kavics-, zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból újrahasznosított adalékanyag* frakciók, be nem épített szilárd *kavics-, zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból visszanyert tört* frakciók és *friss zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból visszanyert mosott, osztályozott* frakciók | | | | | | | |
| | ALM-B | ALM-C | ALM-D | ALM-E | ALM-F | ALM-G | ALM-H | — |
| | ③ *ZÚZOTTKŐBETON* durva adalékanyagaként alkalmazott *zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból újrahasznosított adalékanyag* frakciók, be nem épített szilárd *zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból visszanyert tört* frakciók és *friss zúzottkő- vagy zúzottkavicsbetonból visszanyert mosott, osztályozott* frakciók | | | | | | | |
| | ALM-A | ALM-B | ALM-C | ALM-D | ALM-E | ALM-F | ALM-G | ALM-H |
| | A 4 mm feletti szemnagyságú újrahasznosított vagy visszanyert adalékanyag megengedett tömegaránya a teljes 4 mm feletti adalékanyagban, tömegszázalék | | | | | | | |
| (C6/8) | R | R | R | R | R | R | R | 0,5×R |
| C8/10 | R | R | R | R | R | R | 0,5×R | 0,25×R |
| C12/15 | R | R | R | R | R | 0,5×R | 0,25×R | × |
| C16/20 | R | R | R | R | 0,5×R | 0,25×R | × | × |
| C20/25 | R | R | R | 0,5×R | 0,25×R | × | × | × |
| C25/30 | R | R | 0,5×R | 0,25×R | × | × | × | × |
| C30/37 | R | 0,5×R | 0,25×R | × | × | × | × | × |
| C35/45 | 0,5×R | 0,25×R | × | × | × | × | × | × |
| C40/50 | 0,25×R | × | × | × | × | × | × | × |
| ≥ C45/55 | × | × | × | × | × | × | × | × |

Megjegyzés:

- A betonadalékanyagok aprózódási csoportba sorolásának *1. táblázatbeli* feltételei az újrahasznosított és a visszanyert durva betonadalékanyagokra is vonatkoznak.
- 4 mm alatti újrahasznosított vagy visszanyert adalékanyagot X0v(H), XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, XA1, XD1, XV0(H) környezeti osztályú betonok készítéséhez alkalmazni nem ajánlott, az XN(H) és X0b(H) kivételével az egyéb környezeti osztályú betonok készítéséhez alkalmazni nem szabad.

Jelmagyarázat:

R Az újrahasznosított vagy visszanyert durva adalékanyag alkalmazásának megengedett legnagyobb tömegszázaléka a környezeti osztály függvényében az MSZ 4798:2016 szabvány E2. táblázata szerint, a szabvány F mellékletének és az MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány figyelembevételével.

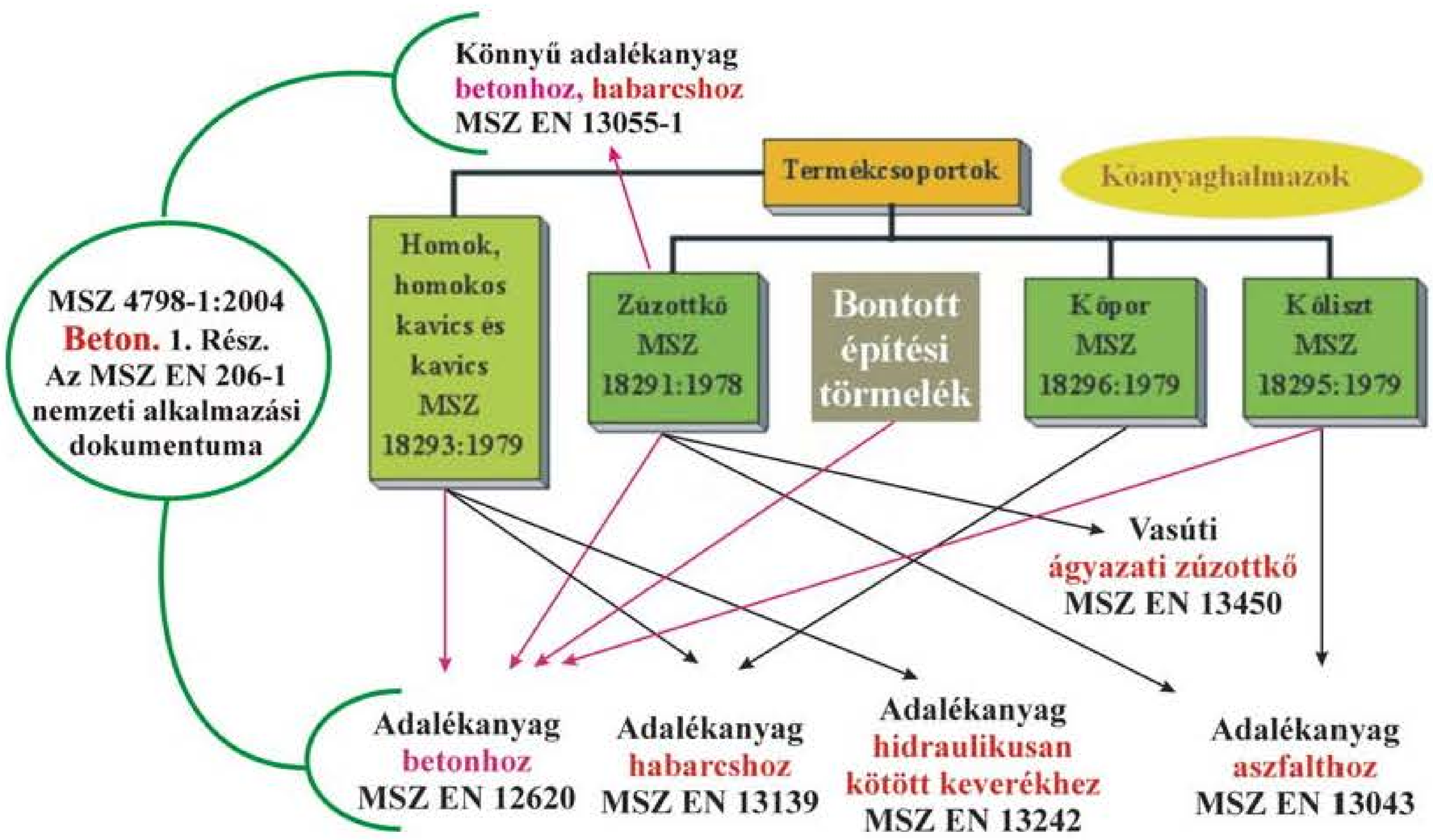
× Újrahasznosított vagy visszanyert betonadalékanyagként nem alkalmazható.

# Betonadalékanyagok az új, európai szabványokban

## 1. Bevezetés

Az építési célú kőanyaghalmazok — beleértve a betonadalékanyagokat is — tulajdonságainak és megfelelőségének szabályozására az MSZT/MB 113. „Ásványi kő adalékanyagok" nemzeti szabványosító műszaki bizottság 1998-tól folyamatosan honosította az európai kőanyaghalmaz vizsgálati és termék szabványokat. Ezt követően a Magyar Szabványügyi Testület az 1992. előtt kiadott, az európai szabványok tárgykörébe eső nemzeti szabványokat fokozatosan visszavonta. Vannak olyan érvényüket vesztett 1992. előtti nemzeti kőanyaghalmaz szabványok, amelyek alkalmazását a jövőben sem lehet nélkülözni, ezek irodalmi ajánlásként épülnek be a napjainkban kialakuló új szabályozási rendszerbe.

A homok, homokos kavics, kavics, zúzottkő, kőpor, kőliszt tárgyú nemzeti termék szabványok helyébe lépő hat új európai kőanyaghalmaz termék szabvány közül az MSZ EN 12620:2003 és az MSZ EN 13055-1:2003 foglalkozik a betonadalékanyagokkal, amelyek hazai alkalmazását az MSZ 4798:1:2004 betonszabvány értelmezi (*1. ábra*).




**1. ábra. Kőanyaghalmazok termékcsoportjai**

Mind a hat új, európai kőanyaghalmaz termékszabvány, így a betonadalékanyag szabványok is harmonizált szabványok. E szabványoknak megfelelő adalékanyagok az építési termékek „új megközelítésű" európai irányelvében szereplő „lényeges" követelményeket (az élet, egészség, vagyon, környezet védelme) is teljesítik.

A betonadalékanyagok természetes vagy mesterséges eredetű, esetleg építési törmelékből előállított kőanyaghalmazok, amelyek adott műszaki feltételek mellett cementtel és vízzel, esetleg adalékszerrel és/vagy kiegészítőanyaggal összekeverve MSZ 4798-1:2004 szerinti (legalább C8/10 vagy LC8/9 nyomószilárdsági osztályú) betonok készítésére alkalmasak.

A betonadalékanyagok az útépítés különleges előírásai alapján használhatók az ÚT 2-3.201:2000 szerinti (C20/25 – C30/37 nyomószilárdsági osztályú) beton pályaburkolatok, az ÚT 2-3.204:1993 szerinti (C4/5 – C12/15 nyomószilárdsági osztályú) útépítési beton burkolatalapok, az ÚT 2-3.207:2003 szerinti hidraulikus kötőanyagú útpályaszerkezeti alaprétegek készítésére is.

*Természetes betonadalékanyag* a homok, kavics, homokos kavics, zúzottkő, vulkáni tufa, vasérc, *mesterséges adalékanyag* a duzzasztott agyagkavics, kohóhabsalak, granulált kohósalak, duzzasztott üvegkavics, *építési törmelékből előállított adalékanyag* a betontörmelék, téglatörmelék, vegyes törmelék stb.

A betonadalékanyagok tulajdonságait az új európai szabványok geometriai, fizikai, kémiai, tartóssági csoportokba sorolva írják le. Az *1. táblázat* azokat a legfontosabb tulajdonságokat és vizsgálati módszereket foglalja össze, amelyeknek a kőanyaghalmazok betonadalékanyagkénti alkalmazásában — nemzeti sajátságainkat is figyelembe véve — általában termékminősítő vagy betontechnológiai szerepe van.

Megjegyzés: Az európai betonadalékanyag és könnyű adalékanyag szabvány a kőlisztek tulajdonságait is tárgyalja.

## 1. táblázat. A betonadalékanyagok tulajdonságai és vizsgálata

| Tulajdonság | Vizsgálati szabvány | Homok | Kavics | Zúzottkő | Könnyű kőanyag-halmaz |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Homokos kavics | | | |
| Testsűrűség | MSZ EN 1097-6 | | | XX | XX |
| Halmazsűrűség | MSZ EN 1097-3 | | | | XX |
| Vízfelvétel | MSZ EN 1097-6 | X | | X | X |
| Szemmegoszlás | MSZ EN 933-1<br>MSZ 4798-1<br>MSZ 18288-5 | XX | XX | XX | X |
| Szemalak,<br>ha $d > 4$ mm | MSZ EN 933-3<br>MSZ EN 933-4 | | | XX | XX |
| Szemalak,<br>ha $D \leq 4$ mm | MSZ 18288-3<br>3. fejezet | X | | X | X |
| Los Angeles aprózódás | MSZ EN 1097-2<br>MSZ 18287-1 | | | XX | |
| Mikro-Deval aprózódás | MSZ EN 1097-1<br>MSZ 18287-6 | | | XX | |
| Magnézium-szulfátos aprózódás | MSZ EN 1367-2<br>MSZ 18289-3 | | | XX | |
| Halmaz-szilárdság | MSZ EN 13055-1<br>A melléklet | | | | X |
| Fagyállóság | MSZ EN 13055-1<br>C melléklet | | | | X |
| Agyag-iszap tartalom | MSZ 18288-2 | XX | | | |
| Vízoldható kloridion-tartalom | MSZ EN 1744-1<br>7. fejezet | XX | XX | | |
| Vízoldható szulfátion-tartalom | MSZ EN 1744-1<br>10. fejezet | XX | XX | | |
| Szerves szennyeződés | MSZ EN 1744-1<br>15.1. szakasz | X | X | X | X |
| Pirit szennyeződés | MSZ EN 1744-1<br>14.1. szakasz | Y | Y | Y | |
| Alkáli szilikát reakció érzékenység | MSZ 4798-1<br>MSZ EN 12620<br>MSZ EN 13055-1<br>MSZ CR 1901 | Y | Y | | |
| Alkáli dolomit reakció érzékenység | MSZ 4798-1<br>MSZ EN 13055-1 | | | Y | |
| Jelmagyarázat: | $d$ = névleges legkisebb szemnagyság<br>$D$ = névleges legnagyobb szemnagyság<br>XX = termékminősítő vizsgálat, amelyre van követelmény<br>X = általában elvégzendő vizsgálat, amelyre nincs követelmény érték<br>Y = gyanú esetén elvégzendő vizsgálat | | | | |

## 2. Testsűrűség és halmazsűrűség

A betonadalékanyag kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége illetve halmazsűrűsége alapján a *2. táblázat* szerint nehéz (sugárvédő), közönséges (normál) vagy könnyű adalékanyag.

**2. táblázat. A betonadalékanyagok kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége illetve halmazsűrűsége**

| Könnyű adalékanyag | | Közönséges (normál) adalékanyag | Nehéz (sugárvédő) adalékanyag |
|---|---|---|---|
| ha laza állapotban a halmazsűrűsége, $kg/m^3$ | ha a testsűrűsége, $kg/m^3$ | | |
| $\leq 1200$ | $\leq 2000$ | 2001 – 3000 | $> 3000$ |

## 3. Szemnagyság és szemmegoszlás

### 3.1. Betonadalékanyag frakciók (termékek) szemnagysága

A betonadalékanyag frakciók osztályozott, a homok, kavics, homokos kavics esetén rendszerint mosott és osztályozott, zúzottkő esetén általában tört és osztályozott termékek, amelyek szemnagyságát az MSZ EN 12620:2003 szabvány szerint a névleges legkisebb ($d$) és a névleges legnagyobb ($D$) szemnagysággal, valamint a $D$ ellenőrző szitákon áthullott megkövetelt legkisebb, és a $d$ ellenőrző szitán áthullott megengedett legnagyobb tömeg%-kal jelölik. Például a „4/8 kavics $G_C$80/15” jel olyan 4-8 mm névleges szemnagyságú osztályozott kavics frakciót jelent, amelynek a $D$ ellenőrző szitán áthullott megkövetelt legkisebb mennyisége 80 tömeg%, és a $d$ ellenőrző szitán áthullott megengedett legnagyobb mennyisége 15 tömeg% (*3. táblázat*).

### 3.2. Betonadalékanyag keverékek szemmegoszlása

A betonadalékanyag keveréket általában osztályozott frakciók megfelelő arányú összekeverésével kell előállítani.

Megjegyzés: Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint osztályozatlan adalékanyagot csak ≤ C12/15 illetve ≤ LC12/13 nyomószilárdsági osztályú beton készítéséhez felhasználni.

A betonadalékanyag keverék szemmegoszlását a szemmegoszlási görbével, a legnagyobb szemnagysággal, a finomsági modulussal, és ha szükséges, akkor az $U_{70/10} = d_{70}/d_{10}$ egyenlőtlenségi együtthatóval kell jellemezni.

Megjegyzés (MSZ 4798-1:2004):

- A **szemmegoszlási görbe** a vizsgálószitákon átesett összes anyag tömeg%-ban, eltérő testsűrűségű adalékanyagok esetén térfogat%-ban kifejezett mennyiségének ábrázolása a szemnagyság logaritmusának függvényében. A szemmegoszlási görbe folyamatos vagy lépcsős lehet.

- A **lépcsős szemmegoszlás** egy-lépcsős. A hiányzó szemeknél finomabb szemek mennyisége a keveréknek 30-40 tömegszázalékát, illetve a hiányzó szemeknél durvább szemek mennyisége a keveréknek 60-70 tömegszázalékát tegye ki.

- A betonadalékanyag keverék **legnagyobb szemnagyságát** a 8, 12, 16, 20, 24, 32, 48, 63 mm nyílású sziták közül annak a legkisebb nyílású szitának a névleges méretével kell jellemezni, amelyik szemmegoszlása a határgörbék feltételének megfelel. Jele $D_{max}$ vagy $D$.

  A legnagyobb szemnagyság nem lehet nagyobb, mint a szerkezetrész legkisebb méretének egyharmada, vagy a névleges betonfedés kétharmada, vagy az acélbetétek egymástól való legkisebb távolságának (a legkisebb szabad nyílásnak) kétharmada.

- A **finomsági modulus** a betonadalékanyag szemmegoszlásának jellemzője, amelyet a 0,063 mm nyílású szitával kezdve a „duplázódó" szitákon fennmaradt összes anyag tömegarányának (tömeg%/100), eltérő testsűrűségű adalékanyagok esetén térfogatarányának (térfogat%/100) összegeként kell kiszámítani. Jele: $m$.

- A betonadalékanyag szemmegoszlásának **egyenlőtlenségi együtthatója** a szemmegoszlási görbe 70 tömeg%-os (térfogat%-os) ordináta értékéhez tartozó szemnagyság ($d_{70}$) és a szemmegoszlási görbe 10 tömeg%-os (térfogat%-os) ordináta értékéhez tartozó szemnagyság ($d_{10}$) hányadosa. Jele: $U_{70/10}$ (MSZ 4798-1:2004).

A betonadalékanyag keverék szemmegoszlása a szemmegoszlási görbével, a legnagyobb szemnagysággal, a finomsági modulussal, az egyenlőtlenségi együtthatóval jellemezhető, és e jellemzők alapján osztályozható (MSZ 4798-1:2004).

**3. táblázat: Betonadalékanyag frakciók (termékek) szemnagysága (MSZ 4798-1:2004 NAD 5.1. táblázat szerint)**

| Megnevezés és osztály | Névleges szemnagysághatár | | Feltétel | Ellenőrző szita | | Példa mm/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Legkisebb (*d*) | Legnagyobb (*D*) | | Szitanyílás mm | Áthullott anyag tömegszázaléka | |
| | szemnagyság, mm | | | | | |
| Homok Zúzottkő Könnyű adaléka. $G_F85$ | $d = 0$ | $D \leq 4$ | - | 0,063<br>*D*/4<br>*D*/2<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0-10 [a]; 0-5 [b]; 0-3 [c]<br>20 – 60<br>50 – 90<br>85 – 99<br>95 – 100<br>100 | 0/1 [a]; 0/2 [b]; 0/4 [c] |
| Homok Zúzottkő Könnyű adaléka. frakció $G_F85/20$ | $d > 0$ | $D = 4$ | - | 0,063<br>*d*/2<br>*d*<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0 - 3<br>0 – 10<br>0 – 20<br>85 – 99<br>95 – 100<br>100 | 1/4; 2/4 |
| Homokos kavics Zúzottkő Könnyű adaléka. frakció $G_C85/20$ | $d = 2$ | $4 < D \leq 11{,}2$ (12) [d] | Szűk frakció $D/d \leq 6$ | 0,063<br>*d*/2<br>*d*<br>*D*/1,4<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0 - 3<br>0 – 5<br>0 – 20<br>25 – 70<br>85 – 99<br>98 – 100<br>100 | 2/8; 2/12 |

(A 3. táblázat folytatása)

| Megnevezés és osztály | Szemnagysághatár | | Feltétel | Ellenőrző szita | | Példa mm/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Legkisebb (*d*) | Legnagyobb (*D*) | | Szitanyílás mm | Áthullott anyag tömegszázaléka | |
| | szemnagyság, mm | | | | | |
| Homokos kavics Zúzottkő Könnyű adaléka. frakció $G_C90/15$ | $d = 2$ | $11{,}2$ (12) [d] $< D \leq 20$ | Nyújtott frakció $6 < D/d \leq 10$ | 0,063<br>*d*/2<br>*d*<br>*D*/2<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0 – 3<br>0 – 5<br>0 – 15<br>25 – 70<br>90 – 99<br>98 – 100<br>100 | 2/16; 2/20 |
| Kavics Zúzottkő Könnyű adaléka. frakció $G_C80/15$ | $d \geq 4$ | $D \geq 8$ | Szűk frakció $D/d \leq 2$ | 0,063<br>*d*/2<br>*d*<br>*D*/1,4<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0 – 3<br>0 – 5<br>0 – 15<br>25 – 70<br>80 – 99<br>98 – 100<br>100 | 4/8; 8/16; 16/32 |
| Kavics Zúzottkő Könnyű adaléka. frakció $G_C85/15$ | $d \geq 4$ | $D > 8$ | Nyújtott frakció $D/d > 2$ | 0,063<br>*d*/2<br>*d*<br>*D*/2<br>*D*<br>1,4x*D*<br>2x*D* | 0 – 3<br>0 – 5<br>0 – 15<br>25 – 70<br>85 – 99<br>98 – 100<br>100 | 4/16; 8/24; 8/32 |

[a], [b], [c] A 0/1; 0/2; 0/4 mm szemnagyságú anyag 0,063 mm nyílású szitán áthulló megfelelő megengedett tömegszázaléka.

[d] Magyarországon szabad a zárójelben feltüntetett nyílású szitát használni.

A szemmegoszlási görbét a határgörbékkel kell összevetni. Az adalékanyag szemmegoszlása I. osztályú, ha a finomsági modulusa az „A” határgörbe finomsági modulusánál nem nagyobb és a „B” határgörbe finomsági modulusánál nagyobb. Az adalékanyag szemmegoszlása II. osztályú, ha a finomsági modulusa az „B” határgörbe finomsági modulusánál nem nagyobb és a „C” határgörbe finomsági modulusánál nagyobb. A határgörbék finomsági modulusa a *4. táblázatban*, egyenlőtlenségi együtthatója a *5. táblázatban* található.

**4. táblázat. A betonadalékanyag keverékek szemmegoszlási határgörbéinek finomsági modulusa (MSZ 4798-1:2004 NAD M1. – M8. ábrák szerint)**

| Legnagyobb szemnagyság, mm | Szemmegoszlási határgörbe jele | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| | Finomsági modulus | | |
| 8 | 5,70 | 4,90 | 4,30 |
| 12 | 6,15 | 5,30 | 4,65 |
| 16 | 6,60 | 5,60 | 4,80 |
| 20 | 6,85 | 5,75 | 4,95 |
| 24 | 7,10 | 6,00 | 5,10 |
| 32 | 7,55 | 6,35 | 5,40 |
| 48 | 7,85 | 6,65 | 5,55 |
| 63 | 8,20 | 7,00 | 5,80 |

**5. táblázat. A betonadalékanyag keverékek szemmegoszlási határgörbéinek egyenlőtlenségi együtthatója (MSZ 4798-1:2004 NAD M1. táblázat szerint)**

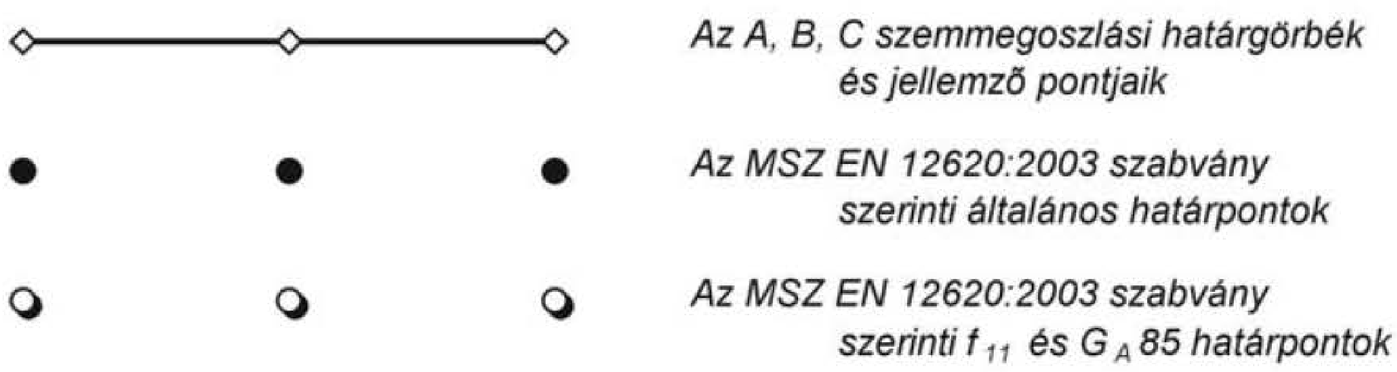
| Legnagyobb szemnagyság, mm | Szemmegoszlási határgörbe jele | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| | Egyenlőtlenségi együttható | | |
| 8 | 11 | 18 | 16 |
| 12 | 11 | 22 | 20 |
| 16 | 14 | 22 | 28 |
| 20 | 14 | 27 | 27 |
| 24 | 14 | 32 | 28 |
| 32 | 15 | 38 | 40 |
| 48 | 16 | 46 | 41 |
| 63 | 20 | 59 | 49 |

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány figyelembe veszi, hogy az MSZ EN 12620:2003 szabvány szerint a közönséges és a nehéz adalékanyag keverék szemmegoszlása akkor

megfelelő, ha a legkisebb és a legnagyobb szemek mennyiségén kívül a közbenső $D_{max}/6{,}25$ – $D_{max}/11{,}2$ mm közötti nyílású és a $D_{max}/2$ mm nyílású ellenőrző szitákon átesett összes anyag mennyisége is szitánként megfelel az előírt határértékeknek. Az MSZ EN 12620:2003 szerinti határpontok a határgörbéknél kevésbé szigorúak, ha a szemmegoszlási görbe a határgörbéknek megfelel, akkor a határpontok szerinti követelmény általában külön vizsgálat nélkül is teljesítettnek tekinthető.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti szemmegoszlási határgörbék — beleértve az MSZ EN 12620:2003 szerinti határpontokat is — a honlapunknak kattintással itt megnyitható oldalán láthatók.

Jelmagyarázat a szemmegoszlási határgörbékhez:




Az $f_{11}$ és $G_A85$ jelű határpontokat csak indokolt esetben alkalmazzuk.

A betonadalékanyag keverékek szemmegoszlás szerinti jellemzése a szemmegoszlási görbe megadása mellett a következő jelölési módozatok valamelyikével történhet:

- a legnagyobb szemnagysággal és utalással az „A”, „B” illetve „C” határgörbére, vagy a közöttük lévő I. illetve II. területre, pl. így: $D_{max}$ = 16 (AB) vagy $D_{max}$ = 16 (I.), vagy AB16;
- a legnagyobb szemnagysággal és utalással a finomsági modulusra, pl. így: $D_{max}$ = 16 (m = 5,6 - 6,6);
- a legnagyobb szemnagysággal és utalással az egyenlőtlenségi együtthatóra, pl. így: $D_{max}$ = 16 ($U_{70/10}$ = 14 - 22).

## 4. A betonadalékanyag vízigénye

A betonadalékanyag vízigénye a szemmegoszlás, az agyag-iszap tartalom, és az előállítandó beton konzisztenciájának függvénye. A vízigény meghatározására MÉASZ ME-04-19:1995 műszaki előírás 3.2.1.2.2. szakasza vizsgálati módszert és

számítási képleket közöl.

**5. A 4 mm feletti zúzottkő és könnyű adalékanyag szemek szemalakja**

A $d > 4$ mm szemnagyságú zúzottkő és könnyű adalékanyag szemek MSZ EN 933-4:2000 szerint — a hosszúság és vastagság tengelyaránya alapján — meghatározott szemalaktényezője a következő legyen:

- C8/10 – C12/16 beton nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{55}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 55 tömegszázalék);
- C16/20 – C20/25 beton nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{40}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 40 tömegszázalék);
- C25/30 – C50/60 beton nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{20}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 20 tömegszázalék);
- nagyszilárdságú betonok (nyomószilárdsági jele ≥ C55/67) esetén legfeljebb $SI_{15}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 15 tömegszázalék).

**6. Zúzottkövek kőzetfizikai csoportja**

A betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkő nyersanyagot vagy zúzottkő terméket az „önszilárdság” és az időállóság jellemzésére a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat eredménye alapján a *6. táblázat* szerint kőzetfizikai csoportba kell sorolni. A zúzottkő vagy zúzottkő termék akkor sorolható be valamely kőzetfizikai csoportba, ha az ugyanazon szemnagyságú laboratóriumi mintából (frakcióból) előállított vizsgálati anyag a kőzetfizikai csoport minden követelményét egyidejűleg kielégítette.

Az európai szabványok a 10-14 mm szemnagysághatárú Los Angeles, mikro-Deval, szulfátos kristályosítási vizsgálati minták *referencia-vizsgálatát* írják elő, de megengedik bizonyos *alternatív-vizsgálati* szemnagysághatárok alkalmazását is. Ha a referencia-vizsgálati minták nem állnak rendelkezésre, vagy magát a tényleges szemnagyságú terméket célszerű vizsgálni, akkor Magyarországon megegyezés szerint szabad a Los Angeles, a mikro-Deval, a szulfátos kristályosítási vizsgálatot alternatív-vizsgálatként, a vonatkozó nemzeti szabvány (MSZ 18287-1:1990, MSZ 18287-

6:1984, MSZ 18289-3:1985) szerint, az abban szabályozott vizsgálati anyagon elvégezni (MSZ 4798-1:2004).

A kőzetfizikai csoport jelében fel kell tüntetni a laboratóriumi minta (frakció) szemnagysághatárait (*d/D*) és a referencia-vizsgálat (*r*), vagy az alternatív-vizsgálat (*a*) betűjelét (pl. 12/20 mm névleges szemnagysághatárú termék alternatív-vizsgálata esetén pl. $Kf\text{-}A^{12/20\text{-}a}$). Ha alternatív-vizsgálatot végeztek, akkor az alternatív-vizsgálat jelében meg kell adni a vizsgálati minta szemnagysághatárait ($d_1$-$d_2$) (pl. 12-20 mm szemnagyságú vizsgálati minta Los Angeles aprózódása esetén $a_{LA}^{12\text{-}20}$).

A zúzottkövek kőzetfizikai csoportját, jelét és alkalmazhatóságát beton készítés céljára a *6. táblázat* tartalmazza.

## 7. Betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állósága

Magyarországon a homok, kavics, homokos kavics általában fagyálló kőanyaghalmaz, ezért a fagy- és olvasztó-állóságát nem szokás megvizsgálni. A zúzottkövek fagy- és olvasztó-állóságát a magnézium-szulfátos kristályosítással kapott aprózódás, illetve az annak figyelembevételével meghatározott kőzetfizikai csoport fejezi ki (lásd a 6. fejezetet).

Ha szükséges, el lehet végezni az MSZ EN 1367-1:2000 szabvány szerinti fagyasztási vizsgálatot. Az eljárás során a légköri nyomáson vízzel telített kőanyaghalmazt 10 ismétléssel kell meghatározott ideig (-17,5±2,5) °C hőmérsékleten fagyasztani, és utána (+20±3) °C hőmérsékletű vízben olvasztani. A vizsgált kőanyaghalmaz legkisebb szemnagysága felének megfelelő szitán áteső veszteség ne legyen 1,0 tömeg%-nál több ($F_1$ fagyállósági osztály). Ennek az eljárásnak az eredményét — tapasztalatok hiányában — nem lehet mértékadónak tekinteni.

Indokolt esetben a kőanyaghalmazon elvégezhető az MSZ EN 1367-1:2000 szabvány B melléklete szerinti olvasztósó-oldatos vizsgálat is, ennek eredményére azonban — kellő tapasztalat hiányában — követelmény nem áll rendelkezésre.

**6. táblázat. A zúzottkő betonadalékanyagok kőzetfizikai csoportja (MSZ 4798-1:2004 NAD 5.2. táblázat szerint)**

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálati minta szemnagysága mm | Kőzetfizikai csoportok **referencia-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „r") | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kf-0$^{d/D-r}$ | Kf-A$^{d/D-r}$ | Kf-B$^{d/D-r}$ | Kf-C$^{d/D-r}$ | | Kf-D$^{d/D-r}$ | |
| | | | | | Kf-C1$^{d/D-r}$ | Kf-C2$^{d/D-r}$ | Kf-D1$^{d/D-r}$ | Kf-D2$^{d/D-r}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2 | 10-14 | $LA_{15}$ ≤ 15 | 15 < $LA_{20}$ ≤20 | 20 < $LA_{25}$ ≤ 25 | 25 < $LA_{30}$ ≤ 30 | 30 < $LA_{35}$ ≤ 35 | 35 < $LA_{40}$ ≤ 40 | 40 < $LA_{45}$ ≤ 45 |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1 | 10-14 | $M_{DE}10$ ≤ 10 | 10 < $M_{DE}15$ ≤ 15 | 15 < $M_{DE}20$ ≤20 | 20 < $M_{DE}25$ ≤ 25 | 20 < $M_{DE}25$ ≤ 25 | 25 < $M_{DE}30$ ≤ 30 | 25 < $M_{DE}30$ ≤ 30 |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2 | 10-14 | $MS_5$ ≤ 5 | 5 < $MS_{10}$ ≤ 10 | 10 < $MS_{15}$ ≤ 15 | 15 < $MS_{18}$ ≤18 | 18 < $MS_{21}$ ≤21 | 21 < $MS_{25}$ ≤ 25 | 25 < $MS_{30}$ ≤ 30 |
| A zúzottkőbeton [a] legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez ezt a zúzottkövet fel szabad használni | Nincs korlátozva | C50/60 | C25/30 | C20/25 | C16/20 | | C12/15 | C8/10 |

(A 6. táblázat folytatódik)

(A 6. táblázat folytatása)

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálható szemnagyság tartománya [b] mm | Kőzetfizikai csoportok **alternatív-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „a") | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kf-0$^{d/D-a}$ | Kf-A$^{d/D-a}$ | Kf-B$^{d/D-a}$ | Kf-C$^{d/D-a}$ | | Kf-D$^{d/D-a}$ | |
| | | | | | Kf-C1$^{d/D-a}$ | Kf-C2$^{d/D-a}$ | Kf-D1$^{d/D-a}$ | Kf-D2$^{d/D-a}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ 18287-1 | 3-80 | $a_{LA15}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{LA20}{}^{d_1-d_2}$ ≤20 | 20 < $a_{LA25}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{LA30}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 30 | 30 < $a_{LA35}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 35 | 35 < $a_{LA40}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 40 | 40 < $a_{LA45}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 45 |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ 18287-6 | 3-20 | $a_{MD10}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 10 | 10 < $a_{MD15}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{MD20}{}^{d_1-d_2}$ ≤20 | 20 < $a_{MD25}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 25 | 20 < $a_{MD25}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{MD30}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 30 | 25 < $a_{MD30}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 30 |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ 18289-3 | 2-80 | $a_{Mg5}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 5 | 5 < $a_{Mg10}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 10 | 10 < $a_{Mg15}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{Mg18}{}^{d_1-d_2}$ ≤18 | 18 < $a_{Mg21}{}^{d_1-d_2}$ ≤21 | 21 < $a_{Mg25}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{Mg30}{}^{d_1-d_2}$ ≤ 30 |
| A zúzottkőbeton [a] legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez ezt a zúzottkövet fel szabad használni | Nincs korlátozva | C50/60 | C25/30 | C20/25 | C16/20 | | C12/15 | C8/10 |

[a] A zúzottkőbeton olyan beton, amelynek 4 mm, vagy 8 mm, vagy 12 mm feletti része zúzottkő. A 4 mm alatti rész mindenképpen homok (és esetleg hozzáadagolt finomszemű kiegészítő anyag) legyen.

[b] A vizsgálható szemnagyság tartománya, amely a vizsgálati minták szemnagyságát öleli fel.

## 8. Homok agyag-iszap tartalma

A teljes homokos kavics adalékanyag keveréknek a 4 mm alatti tartományára vonatkoztatott, térfogatos ülepítő vizsgálattal meghatározott agyag-iszaptartalma (0,02 mm-nél kisebb szemek mennyisége) tájékoztató jelleggel,

- feszített vasbeton esetén legfeljebb 3 térfogat% (jele 0-3,0 térfogat% között: *P*);
- vasbeton esetén legfeljebb 6 térfogat% (jele 3,1-6,0 térfogat% között: *Q*);
- beton esetén legfeljebb 10 térfogat% (jele 6,1-10,0 térfogat% között: *R*) legyen.

Ez az ajánlás a teljes adalékanyagról a 4 mm alatti szemek tartományába bemosott 0,063 mm alatti szemek térfogatszázalékára vonatkozik.

## 9. Betonra káros szennyező anyagok

### 9.1. Vízoldható kloridion-tartalom

A betonadalékanyag felületéről vízzel leoldható kloridion-tartalmat 16 mm alatti, illetve 16 mm alá tört szemeken kell az MSZ EN 1744-1:2001 szabvány 7. fejezete szerint meghatározni.

Az MSZ EN 12620:2002 szerint a vasbetonszerkezetek gyártásához használt betonadalékanyag — beleértve a kiegészítő anyagként alkalmazott kőlisztet is — vízoldható kloridion-tartalma $\leq 0{,}01$ tömeg% kell legyen.

A betonacélt nem tartalmazó beton termékek adalékanyagának megengedett vízoldható kloridion-tartalmára vonatkozó előírások a fentinél enyhébbek, a feszített vasbeton termékek adalékanyagáé a fentinél szigorúbbak lehetnek.

Megjegyzés: A beton megengedett vízoldható kloridion-tartalmát a cementtartalom tömeg%-ában kifejezve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 10. táblázata tartalmazza. Az ismert összetélű betonnak a cementtartalom tömeg%-ában kifejezett tényleges kloridion-tartalmát a betonalkotóanyagok súlyozott kloridion-tartalmának összegeként kell kiszámítani.

### 9.2. Vízoldható szulfátion-tartalom

A betonadalékanyag felületéről vízzel leoldható szulfátion-tartalmat 16 mm alatti, illetve 16 mm alá tört szemeken kell az MSZ EN 1744-1:2001 szabvány 10. fejezete szerint meghatározni.

Hazai tapasztalatok szerint az adalékanyag beton készítésére alkalmas, ha a vízoldható szulfátion-tartalma $SO_4$-ben kifejezve $\leq 0{,}2$ tömeg%, és vasbeton készítésére alkalmas, ha $\leq 0{,}1$ tömeg% .

### 9.3. Szerves szennyeződések

A durva szennyeződéseket szemrevételezéssel, a humusztartalmat az MSZ EN 1744-1:2001 szabvány 15.1. szakasza szerinti nátronlúgos (NaOH) módszerrel kell meghatározni.

Az adalékanyag durva szerves szennyeződéseket nem tartalmazhat. Ha a nátronlúgos oldat nem, vagy kissé színeződik el (lesz sötétebb), akkor az adalékanyagnak nincs számottevő humusztartalma, ha az elszíneződés jelentős, akkor az adalékanyagot beton készítésére nem szabad felhasználni.

## 10. Alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakció

A betonadalékanyag alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakciójáról az ide kattintással honlapunkról megnyitható oldalon lehet olvasni.

## 11. Betonadalékanyag bontott építési törmelékből

Az újrahasznosított bontott építési törmelék betonadalékanyag az MSZ EN 12620:2003, MSZ EN 13055-1:2003, MSZ 4798-1:2004 szabványoknak ugyan tárgya, de ezek a szabványok a bontásból származó betonadalékanyagra külön műszaki feltételeket nem tartalmaznak. A bontott beton és tégla törmelék betonadalékanyagként alkalmazására a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának vonatkozó beton- és vasbetonépítési irányelve ad ajánlást.

A pályalemezekből *visszanyert betont* az ÚT 2-3.210:2000 útügyi műszaki előírás szerint lehet új beton adalékanyagaként alkalmazni. A bontott *beton törmelék* ÚT 2-3.207:2003 útügyi műszaki előírás szerinti CB 2 szilárdsági osztályú (lényegében C4/5 nyomószilárdsági osztályú) cementstabilizáció készítésére is felhasználható az ÚT 2-3.207:2003 útügyi műszaki előírás szerint.

A bontott építési törmeléket kellőképpen fel kell dolgozni ahhoz, hogy adalékanyagként beton készítésére alkalmas legyen. Az építőanyag-nemenként elkülönített bontott anyagot több fokozatban megfelelő szemnagyságúra kell törni,

közben az idegen anyagoktól — és ha tartalmaz, a betonacéltól — meg kell tisztítani, majd frakciókra kell osztályozni. A 4 mm alatti bontott építési törmelék betonadalékanyagként kevéssé alkalmas, ezért az adalékanyag keverékben nagy részét homokkal szokás pótolni.

Testsűrűsége alapján a beton törmelék általában közönséges adalékanyagnak, a tégla és többnyire a vegyes törmelék is könnyű adalékanyagnak minősül, és eszerint kell megfeleljen a betonadalékanyagokra vonatkozó MSZ EN 12620:2003, vagy a könnyű adalékanyagokra vonatkozó MSZ EN 13055-1:2003 szabvány előírásainak, valamint az MSZ 4798-1:2004 betonszabványban foglaltaknak.

Összetétele alapján a beton és a tégla törmelék — betontervezés szempontjából is fontos — csoportosítása a *7. táblázat* szerinti.

**7. táblázat. A bontott építési törmelék adalékanyag csoport beosztása összetétel alapján (*fib* MT irányelv szerint)**

| Bontott építési törmelék adalékanyagok csoport beosztása az építőanyagok szerinti összetétel alapján | Beton szemek | Tégla szemek | Habarcs szemek |
|---|---|---|---|
| | aránya a bontott törmelék 4 mm szemnagyság feletti tartományában, tömeg% | | |
| *Beton törmelék* | 85 - 100 | 0 - 13 | 0 - 2 |
| *Beton-tégla vegyes törmelék* | 50 - 85 | 13 - 43 | 2 - 7 |
| *Tégla-beton vegyes törmelék* | 15 - 50 | 43 - 73 | 7 - 12 |
| *Tégla törmelék* | 0 - 15 | 73 - 86 | 12 - 14 |
| feltételezve, hogy | $b_1 - b_2$ | $t_1 - t_2$ | $h_1 - h_2$ |
| akkor | $b_1 + t_2 + h_2 = 100$ | $b_2 + t_1 + h_1 = 100$ | $h_i = t_i/6$ |
| Például beton-tégla vegyes törmelék esetén: | | | |
| ha $b_2 = 85$, $t_1 = 13$, $h_1 = 2$ | akkor $b_2 + t_1 + h_1 = 100$ | | |

A beton törmelék tulajdonságai (szilárdság, szemalak, vízfelvétel stb.) jellegükben hasonlítanak a zúzottkő tulajdonságaihoz, ezért a beton törmelék adalékanyag termékminősítő vizsgálatainak kiválasztása és a vizsgálati eredmények értékelése is a zúzottkövekének megfelelően történjék. A tégla és az esetek többségében a vegyes

törmelék megfelelőségét beton készítés céljára a könnyű adalékanyagokra jellemző tulajdonságok alapján kell megítélni. Külön figyelemmel kell lenni a bontott beton, és különösen a bontott tégla törmelék adalékanyag jelentős vízfelvételére.

A bontott építési törmelék adalékanyagú betonok tulajdonságaival a kattintással honlapunkról megnyitható oldal foglalkozik.

## IRODALOM


| | |
|---|---|
| MSZ 4798-1:2004 | Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon |
| MSZ 18287-1:1990 | Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Los Angeles-vizsgálat |
| MSZ 18287-6:1984 | Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Mikro-Deval-vizsgálat |
| MSZ 18288-2:1984 | Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata ülepítéssel |
| MSZ 18288-3:1978 | Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemalak vizsgálata |
| MSZ 18288-5:1981 | Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlásjellemzők számítása |
| MSZ 18289-3:1985 | Építési kőanyagok időállóságvizsgálata. Szulfátos kristályosítás |
| MSZ EN 933-1:1998 | Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat |
| MSZ EN 933-3:1998 /A1:2004 | Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A szemalak meghatározása. Lemezességi szám |
| MSZ EN 933-4:2000 | Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 4. rész: A szemalak meghatározása. Szemalaktényező |

| | |
|---|---|
| MSZ EN 1097-1:1996 /A1:2004 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval) |
| MSZ EN 1097-2:2000 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása |
| MSZ EN 1097-3:2000 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A halmazsűrűség és a hézagtérfogat meghatározása |
| MSZ EN 1097-6:2001 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása |
| MSZ EN 1367-1:2000 | Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 1. rész: A fagyállóság meghatározása |
| MSZ EN 1367-2:1999 | Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás |
| MSZ EN 1744-1:2001 | Kőanyaghalmazok kémiai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: Kémiai elemzés |
| MSZ EN 12620:2003 | Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz |
| MSZ EN 13055-1:2003 | Könnyű kőanyaghalmazok. 1. rész: Könnyű kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz |
| MSZ CR 1901:2000 | Regionális előírások és ajánlások a beton alkáli-kovasav reakció okozta károsodásának elkerülésére. CEN jelentés |
| MÉASZ ME-04.19:1995 | Beton és vasbeton készítése. Műszaki előírás. 3. fejezet. A beton alapanyagai |
| ÚT 2-3.201:2000 | Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények. Útügyi műszaki előírás |

SZIKKTI

dr. Kausai Tibor tud.mts.

y

"HÁZI VÉDÉS"

# MEGHÍVÓ

# A SZILIKÁTIPARI KÖZPONTI KUTATÓ- ÉS TERVEZŐ INTÉZET TUDOMÁNYOS TANÁCSA

(_____ SZAKBIZOTTSÁG) 1977 ÉV

II. HÓ, 1. NAP, 10. ÓRAKOR

KEZDŐDŐ ÜLÉSÉRE,

MEGVITATÁSRA KERÜLNEK AZ ALÁBBI INTÉZETI JELENTÉSEK:

dr. Kausai Tibor tud.mts. kandidátusi értekezése.

1. A JELENTÉS CÍME: A betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságai és a szemszerkezet komplex jellemzésmódja.

ELŐADÓJA: dr. Kausai Tibor tud.mts.

OPPONENSE: dr. Balázs György müsz.tud.kand.
dr. Reznák László müsz.tud.kand.

2. A JELENTÉS CÍME:

ELŐADÓJA:

OPPONENSE:

AZ ÜLÉS HELYE: AZ INTÉZET TANÁCSTERME, BUDAPEST ~~X., BIHARI UTCA 6.~~ III. Bécsi u. 126.
II. EMELET

BUDAPEST, 19 77. január 17.

DR. TALABÉR JÓZSEF
IGAZGATÓ

4

# K E G H I V Ó

A Tudományos Minősitő Bizottság meghivja Önt

Kausay Tibor

A betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságai
és a szemszerkezet komplex jellemzésmódja

cimü kandidátusi értekezésének 1978. október 5-én d.u. 14 órakor a Magyar Tudományos Akadémia Nagytermében /Bp.V.,Roosevelt-tér 9.II.e/ tartandó nyilvános vitájára.

Az értekezés opponensei:
Kertész Pál a müszaki tudományok kandidátusa
Ujhelyi János a müszaki tudományok kandidátusa

Az értekezés megtekinthető a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában /Bp.V.,Roosevelt-tér 9./ és a BME Könyvtárában /XI.Miegyetem rkp.3./

A nyilvános vitában minden jelenlévő részt vehet és előzetosen irásban is észrevételt tehet.

TUDOMÁNYOS MINÓSITŐ BIZOTTSÁG

Dr. KAUSAY TIBOR

# A BETONADALÉKANYAGOK SZEMSZERKEZETI TULAJDONSÁGAI ÉS A SZEMSZERKEZET KOMPLEX JELLEMZÉSMÓDJA

KANDIDATUSI ÉRTEKEZÉS

BUDAPEST, 1977.

*KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI*

# A BETONADALÉKANYAGOK SZEMSZERKEZETI TULAJDONSÁGAI ÉS A SZEMSZERKEZET KOMPLEX JELLEMZÉSMÓDJA


**Irta:**

**Kausay Tibor**



**Budapest**

**1977**

# I. A KITŰZÖTT KUTATÁSI FELADAT RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYE

Értekezésemben a szabályozott szemszerkezet értéknövelő, kötőanyag-, energia- és költségtakarékos volta ismeretében a homokos kavics és zúzottkő betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságainak új szempontok szerinti feltárását és komplex szemszerkezeti jellemzésmódjának kidolgozását tűztem ki célul.

A témakörnek – az 1990 évig terjedő középtávú tervben – az adalékanyagokkal szemben támasztott magas műszaki-gazdasági, valamint fokozódó mennyiségi követelmények adnak időszerűséget, mert a szemszerkezeti tulajdonságok ismeretének és jellemzésmódjának fejlesztése a népgazdasági követelmények teljesítésének elengedhetetlen feltétele. A beton- és – a tőlük nehezen elválasztható – aszfaltadalékanyagok ugyanis szemcsés halmazok, amelyeket elsődlegesen szemszerkezetük, tehát szemeloszlásuk és szemalakjuk jellemez. A szemszerkezet jelentősége, valamint az építésmódok fejlődése adja a magyarázatát annak, hogy a szemszerkezeti tulajdonságokra és jellemzésmódokra vonatkozóan új szempontok jelentek meg.

Az új szempontok komplex szemléletmódot követelnek. Követelik a szemszerkezeti tulajdonságok sokféleségének és a lehetséges jellemzés egységének bizonyítását.

A szemszerkezeti tulajdonságok sokfélék, különbözők, és különkülön is szerepet játszanak a betonban. Ennek ellenére a betontervezés során korábban a szemszerkezeti tulajdonságokat a szemeloszlásgörbére, sőt sok esetben a finomsági modulusra egyszerűsítettük. Ezzel szemben célszerű az adalékanyag szemszerkezetét a pontosabb megjelenítéshez, a betontulajdonságokra gyakorolt hatás jobb felméréséhez nem egy, hanem több paraméterrel, a térfogati fajlagos felülettel és a szemalakkal is jellemezni.

Ennek – elsősorban betonkísérletek eredményeivel való – igazolását tűztem ki az értekezés első felének kutatási feladatául, amelyben

a finomsági modulus, a térfogati fajlagos felület és a szemalak kavics- és útbetontervezési jelentőségét tanulmányoztam. A szemalakkal kapcsolatban az aszfaltútépítési és zúzottkő minősítési vonatkozásokat is érintenem kellett.

A betonadalékanyagok szemeloszlási tulajdonságai elemzésének tudományos előzménye, hogy bár többen foglalkoztak a betonadalékanyag finomszemtartalmának jelentőségével, ennek kifejezése a fajlagos felület segítségével általában nem, vagy csak a finomsági modulus elvetése mellett található meg. Ezért tartottam szükségesnek a térfogati fajlagos felület fogalmát bevezetni, és azt a finomsági modulussal együtt szemeloszlásjellemzőként a betontervezés szolgálatába állítani.

A szemalak betonszilárdságra gyakorolt hatását eddig csak szórványosan vizsgálták. Ezért a törvényszerűség kimutatásához, és a kőbányaipari technológiai fejlesztések anyagtani adatszolgáltatásához további kísérleteket kellett végeznem, amelyek a szemszerkezeti tulajdonságok elemzésének új szempontjai kialakulásához számottevően hozzájárultak.

A szemszerkezeti tulajdonságok és hatásaik tehát sokfélék, és ez a sokféleség az egység bizonyításának szükségességét vonja maga után. Az egység a sokféleség egysége, a különböző tulajdonságok lényegi közössége, amely a szemcsés halmaz egységes geometriai képében nyilvánul meg. Az egységes geometriai kép alkalmazása a jellemzésmód egységének biztosítéka.

Ennek a szemléletnek megfelelően a szemszerkezet jellemzésének új, komplex módszere kidolgozását tűztem ki az értekezés második fele kutatási feladatául. Kidolgoztam a szemeloszlásjellemzők egységes számítási eljárását, és annak — a hazai homokok és kavicsok szemeloszlási jelleggörbéinek megszerkesztésére irányuló — alkalmazását, továbbá a szemeloszlástervezés kétismeretlenes módszerét, valamint a betontervezéshez is használható méréses szemalakjellemzési eljárást.

A szemeloszlásjellemzők egységes számítását hatványfüggvény alakú szemeloszlásfüggvénnyel biztosítottam. A levezetett szemeloszlásfüggvény az ugyancsak hatványfüggvény alakú klasszikus Schuhmann-eloszlás általánosítását adja. Amíg a Schuhmann-eloszlás csak a zérus alsó határmodulusú szemhalmazok jellemzésére alkalmas, addig az érte-

kezésbeli analitikus szemeloszlásjellemzéssel a zérustól különböző alsó halmazhatárú szemhalmazok, tehát az adalékanyagfrakciók szemeloszlása is leírható.

A kétismeretlenes szemeloszlástervezést grafikus módszerrel oldottam meg. A módszer a külföldön egy szemeloszlásjellemző esetére alkalmazott – de hazánkban eddig ismeretlen – statikai analógiát, és az egyenlőoldalú háromszögábrát használó két szemeloszlásjellemzős felfogást ötvözi magában. A kidolgozott eljárás az egyismeretlenes módszerrel szemben kétismeretlenes, az egyenlőoldalú háromszögábrás módszerrel szemben pedig derékszögű koordinátarendszeres.

A méréses szemalakjellemzési eljárásom tudományos előzményét a szemalak szerinti számgyakoriságot kifejező két koordinátás ábrázolási mód képezi, amely azonban betontervezési feladatok ellátására, és a szemszerkezet egységes jellemzése céljára eredeti formájában alkalmatlan, és ezért továbbfejlesztésre szorult.

A szemszerkezeti tulajdonságok jelentősége elemzésének eredményei és a szemszerkezetjellemzés komplex módszere, tehát az értekezés két nagy összefüggő témaköre együttesen alkotják a korszerű betonépítés sok vonatkozásban új, és egyre nélkülözhetetlenebb szemszerkezeti ismereteit.

## II. A LEFŐLYTATOTT VIZSGÁLATOK, KISÉRLETEK MÓDSZERE

A kitűzött kutatási feladat megoldása érdekében beton, és kiegészítésképpen zúzottkő kísérleteket végeztem.

A kísérletek során a beton szilárdságát, konzisztenciáját, testsűrűségét, tömörítési idejét, a zúzottkő kopás- és ütésállóságát vizsgáltam.

A betonkeverékeket kényszerkeverőben 1 percig tartó száraz és 3 percig tartó vizes keveréssel állítottam elő, a próbakockákat 6000/perc, a próbahasábokat 2800/perc rezgésszámú rázóasztalon tömörítettem. Betonkeverékenként 5 darab 20 cm élhosszúságú próbakocka, 3 vagy 5 darab 15x15x70 cm, vagy 20x20x70 cm méretű próbahasáb készült. A beton próbatesteket 28 napos korban vetettem szilárdságvizsgálat alá,

addig 95% feletti relativ nedvességtartalmú és 20-22 C° hőmérsékletű klímateremben tároltam. A próbatesteket a bedolgozás irányára merőlegesen, az útbeton kísérletek során azzal párhuzamosan törtem el. A próbahasábok esetén a támaszköz 60 cm, a támadóerők távolsága egymástól 20 cm volt, kivéve a szemalak kísérletet, ahol a támadóerő támaszközépen hatott.

A zúzottkő kopás- és ütésállóságát Los Angeles eljárással vizsgáltam.

A kísérletek különböző szemalakú adalékanyagait laboratóriumi szemalak válogatógépen állítottam elő.

A munka folyamán a szakmai szabványokat, előírásokat, szabályzatokat követtem.

A kísérleti eredmények értékelése során egyenest, hatványgörbét, torzfelületet, ferde tkot, elliptikus paraboloidot megjelenítő összefüggéseket találtam a független- és a függővváltozók között. Ezek függvényparamétereit a legkisebb hibanégyzetösszegek módszere szerint számítottam ki.

A Los Angeles eljárás szemalak vizsgálatának szükséges mintaelemszámát hipergeometrikus és binomiális valószínűségeloszlás alapján határoztam meg.

Általában a matematikai statisztika eszközeit alkalmaztam.

## III. AZ UJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A kandidátusi értekezésben közölt új tudományos eredményeim a szemeloszlási és szemalaki tulajdonságok, valamint jellemzési módszerek szerint csoportosíthatók.

1. Uj szempontok szerint elemeztem a betonadalékanyag szemszerkezeti tulajdonságait, amelyek egyik összetevőjére, a szemeloszlási tulajdonságokra vonatkozó új eredményeim a következők:

1.1 A finomsági modulusnak a beton nyomószilárdságára, konzisztenciájára, tömörítési idejére, a vizcementtényező és cementadagolás

optimális értékére gyakorolt hatása kifejezése érdekében a finomsági modulust közvetlen függvényváltozóként tartalmazó új, a mai betontechnológiai színvonalnak megfelelő kavicsbeton-tervezési nomogramot dolgoztam ki.

1.2 A tömegegységre vonatkozó fajlagos felület fogalma helyett bevezettem a kifejezőbb térfogati fajlagos felület fogalmát, és a finomsági modulus mellett ezt használtam az adalékanyag szemeloszlásának jellemzésére. A térfogati fajlagos felület bevezetése lehetővé tette a szemeloszlás pontosabb megjelenítését.

1.3 A beton konzisztenciájára a térfogati fajlagos felületnek nagyobb hatása van, mint a finomsági modulusnak. Adott legnagyobb szemnagyság esetén a beton a térfogati fajlagos felület csökkenésével vagy a finomsági modulus növekedésével lesz képlékenyebb. Változatlan finomsági modulus és térfogati fajlagos felület mellett a legnagyobb szemnagyság csökkenése eredményez képlékenyebb konzisztenciát. A jelenség a homoktartalom különböző változása mellett az optimális szemelrendezésű adalékanyaghalmaz hézagtérfogatának növekedését, és a szemeloszlásgörbe relativ szórásának csökkenését kíséri. A konzisztencia tekintetében tehát nem a finomszemek mennyisége, hanem az adalékanyag szemeloszlásának relativ szórása a meghatározó az átlagos szemnagyság megszabta korlátok között. A beton nyomószilárdságának a finomsági modulus és a térfogati fajlagos felület függvényében maximuma van. A beton maximális nyomószilárdságát adott finomsági modulus esetén a gyakorlatban a 0,125 mm és a 0,5 mm szemnagyságnál szabályozott szemeloszlásgörbével lehet a legjobban biztosítani.

2. Tanulmányoztam az adalékanyag szemalakjának a betontulajdonságokra és a zúzottkőtermék minőségére gyakorolt hatását, amelynek során a következő új eredményekre jutottam:

2.1 A lemezes adalékanyagú betonkeverék konzisztenciája földnedvesebb, szükséges tömörítési ideje nagyobb, mint a zömök adalékanyagúé. A szükséges tömörítési munkák között a legnagyobb különbség a gyengén képlékeny tartományban van. A földnedves, vagy az önthető konzisztencia tartományában a szemalak befolyása a tömörítési munkára lecsökken. A lemezes adalékanyagú betonoknak a zömök-

kekéhez viszonyított többlet cementigénye a vízcementtényező növekedésével növekszik. A lemezes szemalakú betonadalékanyag nagyobb víz- és cementigénye, földnedvesebb konzisztenciája elsősorban nem a térfogati fajlagos felület, hanem a belső súrlódás és a fajlagos hézagtérfogat megnövekedésének a következménye.

2.2 A beton nyomószilárdságát az adalékanyag zömök, hajlító-húzószilárdságát lemezes szemalakja befolyásolja kedvezően. A zömök és lemezes adalékanyaggal készült betonok szilárdságkülönbsége a vízcementtényező növekedésével növekszik. A szilárdságmódosulás nem a finomsági modulus és a térfogati fajlagos felület változásának, hanem az eltérő szemalakok különböző statikai viselkedésének hatására jön létre. A szemalak szilárdságtani szerepének tanulmányozására normál és stearinbevonatos acélfelületek közötti nyomószilárdság vizsgálatot végeztem. Stearinbevonatos törőlap alkalmazásával a betonpróbatest belső feszültségállapota átrendeződött, és a szemalak betonszilárdságra gyakorolt hatásának az értelme megváltozott. A lemezes és zömök adalékanyagú betonok nyomószilárdságának viszonya stearinos törés mellett nagyobb lett, mint normál törés mellett, ami egyértelműen bizonyítja, hogy az adalékanyag szemalakjának az igénybevétel módjától függő szilárdságtani szerepe van a betonban.

2.3 A szemalaknak az útbetonok és útépítési aszfaltok eltérő mértékadó szilárdságára gyakorolt különböző hatása nem szilárdságtani ellentmondás. A hatáskülönbség a betonok és aszfaltok eltérő viszkózus fázisának következménye.

2.4 A szemalak a zúzottkövek termékjellemzőjét, a Los Angeles aprózódási veszteséget is befolyásolja. Ez a hatás nem független az anyagminőségtől. Ha az aprózódási veszteség 30 tömeg % alatt van, akkor várható, hogy a zömökebb szemalakú zúzottkő aprózódási vesztesége – az anyagminőség javulásával növekvő módon – kisebb a lemezes szemalakúénál. A zúzottkőtermékek magasabb kőzetcsoportba sorolását sok esetben nemcsak az aprózódási veszteség által jellemzett anyagminőség, hanem a szemalak javításával is el lehet érni. A kisebb szilárdságú adalékanyagok gyengébb minőségét azok kedvezőbb szemalakja az aprózódási veszteség és a betonnyomószilárdság szempontjából is kiegyenlítheti.

3. Kidolgoztam a szemszerkezetjellemzés egységes módszerét, amelyen belül a szemeloszlásjellemzés új eredményei a következők:

3.1 A szemeloszlásjellemzés és a szemeloszlásjellemzők számítása egységes rendszerét – tetszőleges legkisebb szemnagyságú szemeloszlásfüggvényt megjelenítő – hatványfüggvénysor bevezetésével alakítottam ki, amelyből a szemhalmazhatárok és a hatványkitevő függvényében levezettem a szemeloszlás-, és a szemgyakoriságfüggvény, valamint a szemeloszlásjellemzők, így a lineáris és logaritmikus finomsági moduluszok, a térfogati fajlagos felület, a várhatóérték, a szórásnégyzet képletét.

3.2 A kidolgozott módszerrel meghatároztam a legjelentősebb hazai bányahomokok és kavicsok szemeloszlásjellemzőit. A szemeloszlásfüggvény hatványkitevőjének értékét a szemhalmazhatárok függvényében fejeztem ki. Ezzel az általánosítással egyrészt a szemeloszlásjellemzési módszert a gyakorlati közelítő számítások céljára leegyszerűsítettem, másrészt a szemeloszlások jelleggörbéit és a szemeloszlásjellemzők izogörbéit megszerkeszthettem.

3.3 Statikai analógiát és derékszögű koordinátarendszert alkalmazva kidolgoztam a szemeloszlástervezés két- és háromismeretlenes grafikus módszerét.

4. A szemszerkezetjellemzést a szemeloszlásjellemzéssel összhangban levő szemalakjellemzési módszerrel egészítettem ki. A szemalakjellemzési módszer kidolgozása a következő új eredményekre vezetett:

4.1 A kidolgozott méréses szemalakjellemzési módszert a szemalakábra szemgyakorisági hisztogramjára alapoztam, és szemalakjellemzőként a szemhalmaz lineáris finomsági moduluszának és térfogati fajlagos felületének alaki korrekciós tényezőjét vezettem be. A szemhalmazhoz – annak számszerű alaki megjelenítésére – olyan egyenértékszemet rendeltem, amelynek alaki korrekciós tényezői megegyeznek a szemhalmazéval.

4.2 A háromfőméretű egyenértékszem szemalakábrabeli ábrázolópontjának az egyfőméretű szem origóbeli ábrázolópontjához viszonyított helyzetét az egyenértékszem decentrális variációs együtthatójával fejeztem ki. A szemhalmazok szemalakjának különbözőségét a decent-

rális variációs együtthatók különbségével írtam le. A decentrális variációs együtthatók különbségének függvényében meghatároztam a szemalak módosulás és a betontulajdonságok – mint a nyomószilárdság, a hajlító-húzószilárdság, a cementigény, a konzisztencia, és a tömörítési idő – változása közötti összefüggést.

5. Az értekezésben kidolgozott eredmények több gyakorlati feladat megoldásánál felhasználásra kerültek.

Az adalékanyagok szemeloszlási tulajdonságainak betonokra vonatkozó összefüggései, a betontervezési nomogramok, a szemeloszlástervezés grafikus módszere képezte többek között a Siome betoncsövek állékonysági feltételei, a bicskei hőerőmű vasbeton hűtőtornyai anyagtani követelményei, a Span-Deck feszítettbeton elemek betonösszetétele kidolgozásának az alapját.

A zúzottkövek szemalakjának kőzetfizikai és betontechnológiai vonatkozásaival, valamint a szemalak jellemzésmódjával kapcsolatos eredményeim hozzájárultak a zömök szemalakú zúzottkő termékek – azóta megvalósult – gyártását előirányzó kőbányaipari döntések kialakításához, a kőzet nyersanyagok és termékek feltárt tulajdonságainak kőbányatechnológiai és építőipari hasznosításához, az MSZ 18288 szemszerkezet vizsgálati és az MSZ 18291 zúzottkő termék szabvány szövegezéséhez.

Eredményeimnek a tudományág belső fejlődésére gyakorolt hatása az értekezés tárgyköréből írott publikációimra utaló mintegy 35 irodalmi hivatkozásból, az eredményeknek 12 egyetemi tankönyvben, jegyzetben, közleményben való szerepeltetéséből mérhető le.

6. Javaslom, hogy eredményeim napjaink beton-, kő- és kavicsipari technológiájában és azok műszaki-fejlesztési irányainak kialakításában nyerjenek további hasznosítást, elsősorban a Központi Földtani Hivatal által irányított nyersanyagkutatásoknak, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium felügyelete alatt végzett technológiai kutatásoknak, az Északmagyarországi és a Déldunántúli Kőbánya Vállalat, a Kavicsbánya Vállalat, az Állami Építőipari Vállalatok, a Beton- és Vasbetonipari Művek, a Mélyépítő Vállalat, a Közlekedési Építő Válla-

lat, a Betonútépítő Vállalat építőanyag- és építőipari munkáinak szemszerkezeti és betontervezési kérdésekkel kapcsolatos területén.

## IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE


1. Kausay T.: Betontervezés és szemszerkezet javítás nomogrammal. Mélyépítéstudományi Szemle 15.évf. 1965. 1.sz. 42-44.p.
2. Kausay T.: Kokkolitos betonadalék. Mélyépítéstudományi Szemle 15.évf. 1965. 12.sz. 573-576.p.
3. Kausay T.: Az adalékanyag jellemzése szemcsealak szerint. Mélyépítéstudományi Szemle 16.évf. 1966. 6.sz. 290-296.p.
4. Kausay T.: A betonadalékanyag maximális szemnagyságáról. Építőanyag 18.évf. 1966. 8.sz. 316-320.p.
5. Kausay T.: A szemcsealak hatása a betonszilárdságra. Mélyépítéstudományi Szemle 16.évf. 1966. 10.sz. 476-482.p.
6. Kausay T.: A szemcsealak statikai szerepe a betonban. Építőanyag 19.évf. 1967. 3.sz. 110-115.p.
7. Kausay T.: Az adalékanyag alakjának hatása a betonszilárdságra. SZIKKTI Tudományos Közlemények 21.sz. ÉTK, Budapest, 1967.
8. Kausay T.: Szemszerkezet javításának megtervezése grafikus úton. Mélyépítéstudományi Szemle 18.évf. 1968. 3.sz. 127-130.p.
9. Kausay T.: Die Kornzahl einer Probe bei der Bewertungs-Kornformprüfung. SZIKKTI Mitteilungen. No.11. és No.12. ÉTK, Budapest, 1968.
10. Kausay T.: Zúzottkövek és kavicsok felhasználása Magyarországon mély- és magasépítési célra. Építőanyag. 22.évf. 1970. 5.sz. 161-163.p.

11. Kausay T.: A szemcsealak minősítéses vizsgálatának mintaelemszáma. Mélyépítéstudományi Szemle 20.évf. 1970. 8.sz. 373-388.p.

12. Kausay T.: Zúzottkövek építőipari felhasználhatóságának vizsgálata. Építési kutatás fejlesztés 1971. 5-6.sz. 56-58.p.

13. Kausay T.: Összefüggés a zúzottkő- és kavicstermékek szemalakja és Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási vesztesége között. Építőanyag 23.évf. 1971. 7.sz. 248-254.p. és 8.sz. 288-297.p.

14. Kausay T.: Halmazgeometriai jellemzők a szemalak függvényében. Építőanyag 23.évf. 1971. 11.sz. 422-427.p.

15. Kausay T.: Módszer a zúzottkő és zúzottkavics ellátás vizsgálatára középtávú tervezéshez. Építőanyag 24.évf. 1972. 8.sz. 288-295.p.

16. Kausay T.: Zusammenhang zwischen der Kornform von Splittprodukten und ihrem Zerkleinerungsverlust nach der Los Angeles-Prüfung. SZIKKTI Mitteilungen. No.15. SZIKKTI, Budapest.1972.

17. Kausay T.: Uber die haufwerksgeometrischen Kennwerte der Zuschlagstoffe. Tonindustrie Zeitung 97. Jg. 1973. No.11. 302-304.p.

18. Kausay T.: Útbetonok hajlító-húzószilárdsága. Építőanyag 26.évf. 1974. 7.sz. 264-271.p.

19. Kausay T.: Wie wirkt sich verwittertes Gestein auf die Marshall-Stabilität aus? Die Strasse 14. Jg. 1974. H. 9. 388-390.p.

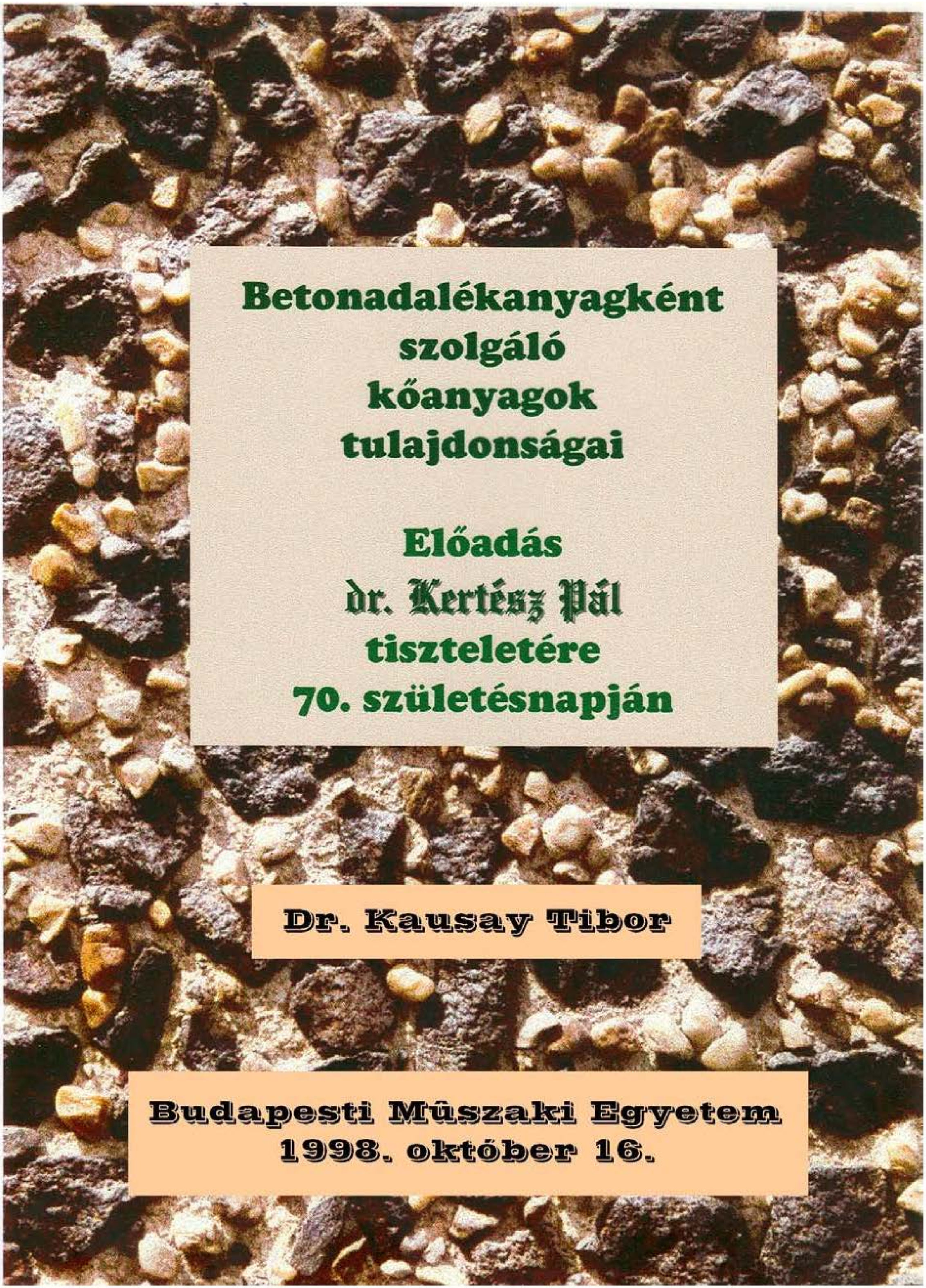
20. Kausay T.: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle 25.évf. 1975. 4.sz. 155-164.p.

21. Kausay T.: Die Verminderung des Los Angeles-Verlustes durch Kornformverbesserung. Freiberger Forschungshefte A 331. 1975. 157-165.p.

22. Kausay T.: A hazai homokok és kavicsok szemeloszlásjellemzői. Építőanyag 28.évf. 1976. 3.sz. 90-100.p.

23. Kausay T.: Betontervezési nomogram. Építőanyag 28.évf. 1976. 8.sz. 281-290.p.

24. Kausay T.: Hozzászólás Horváth Bors Ernő „A beton tömörítési kölcsönhatása" című cikkéhez. Építőanyag 28.évf. 1976. 11.sz. 433-435.p.


Betonadalékanyagként
szolgáló
kőanyagok
tulajdonságai
Előadás
dr. Kertész Pál
tiszteletére
70. születésnapján
Dr. Kausay Tibor
Budapesti Műszaki Egyetem
1998. október 16.

**A beton legfontosabb tulajdonsága a szilárdság, ezért a szilárdságot befolyásoló tényezők vizsgálata mindig a figyelem középpontjában állt.**

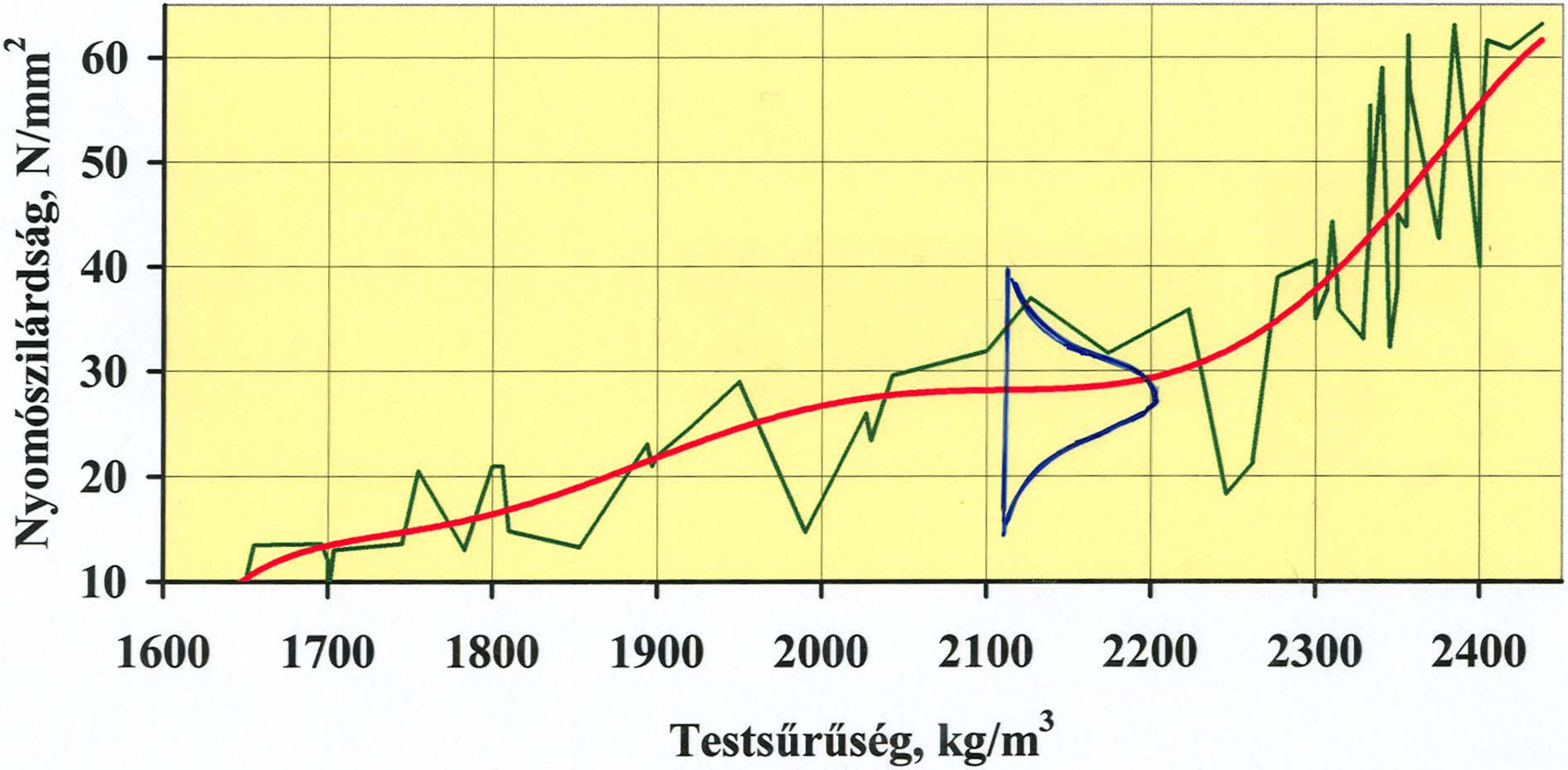
**Megfigyelték, hogy a nagyobb testsűrűségű megszilárdult beton általában nagyobb szilárdsággal is rendelkezik.**

**Ezt mutatja be a $\sigma_{\text{nyomószilárdság}}=f(\rho_{\text{testsűrűség}})$ összefüggés: a testsűrűség növekedésének általában vonzata a nyomószilárdság növekedés, miközben a trendvonal körüli ingadozások, szórások jelentősek.**

**Hallgatólagosan azt is feltételezzük, hogy a testsűrűség növekedése a beton tömörsége növekedésének, pórus- illetve levegőtartalma csökkenésének következménye.**

# A 28 napos beton nyomószilárdsága a testsűrűség függvényében

**(55 adat alapján)**



**Ha a beton kísérleti eredményeket a levegőtartalom szerint rendezzük, természetes, hogy a levegőtartalom növekedésével a nyomószilárdság csökken.**

**A $\sigma_{nyomószilárdság}=f(\rho_{testsűrűség}, l_{levegőtartalom})$ összefüggés ábráján látható be azon feltételezésünk helyessége, amely szerint a testsűrűség növekedése a nyomószilárdság növekedésével és a beton levegőtartalmának csökkenésével jár, mint azt az oda fekete vonallal berajzolt $\sigma_{nyomószilárdság}=f(\rho_{testsűrűség})$ görbe szemlélteti.**

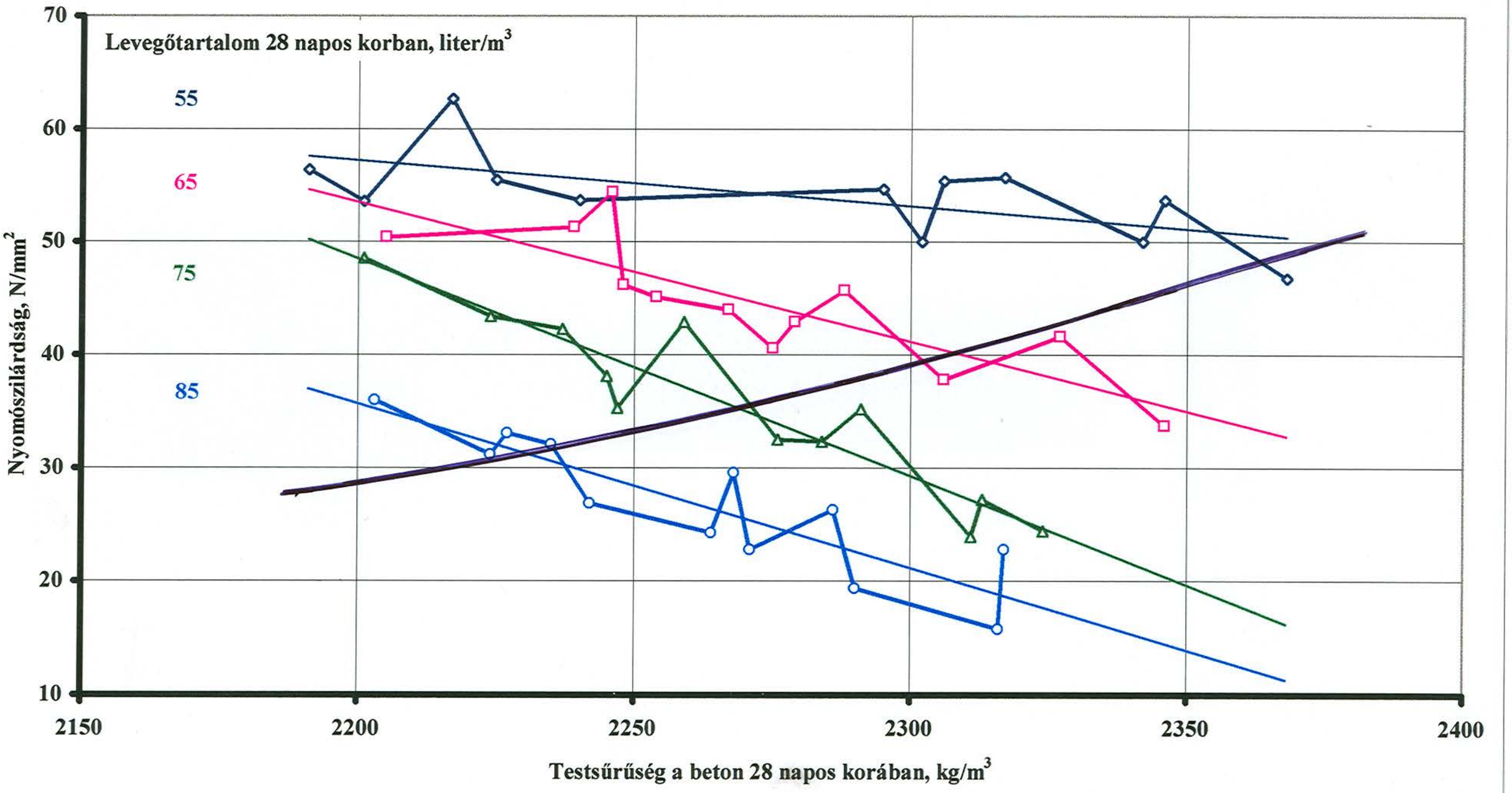
**Az ábrából az is kiolvasható, hogy azonos vagy csak kissé csökkenő levegőtartalom mellett hiába növekszik a testsűrűség, azt olyan körülmény okozza, hogy a szilárdság csökkenni, jobb esetben stagnálni fog. Ennek az a magyarázata, hogy a pórustartalom csökkenés nélküli testsűrűség növekedés a kisebb cementtartalom, kisebb cementpép-, cementkő-tartalom következménye, ami a szilárdság alakulására kedvezőtlenül hat.**

Tapasztalat, hogy a nagyobb testsűrűségű beton általában nagyobb szilárdsággal is rendelkezik.

A beton testsűrűségének növekedése egyrészt a beton tömörsége növekedésének, pórus- illetve levegőtartalma csökkenésének következménye.

A következő ábrán az azonos vagy kissé csökkenő levegőtartalom mellett növekvő testsűrűség azért nem jár szilárdság növekedéssel, mert az a kisebb cementtartalom folyománya.

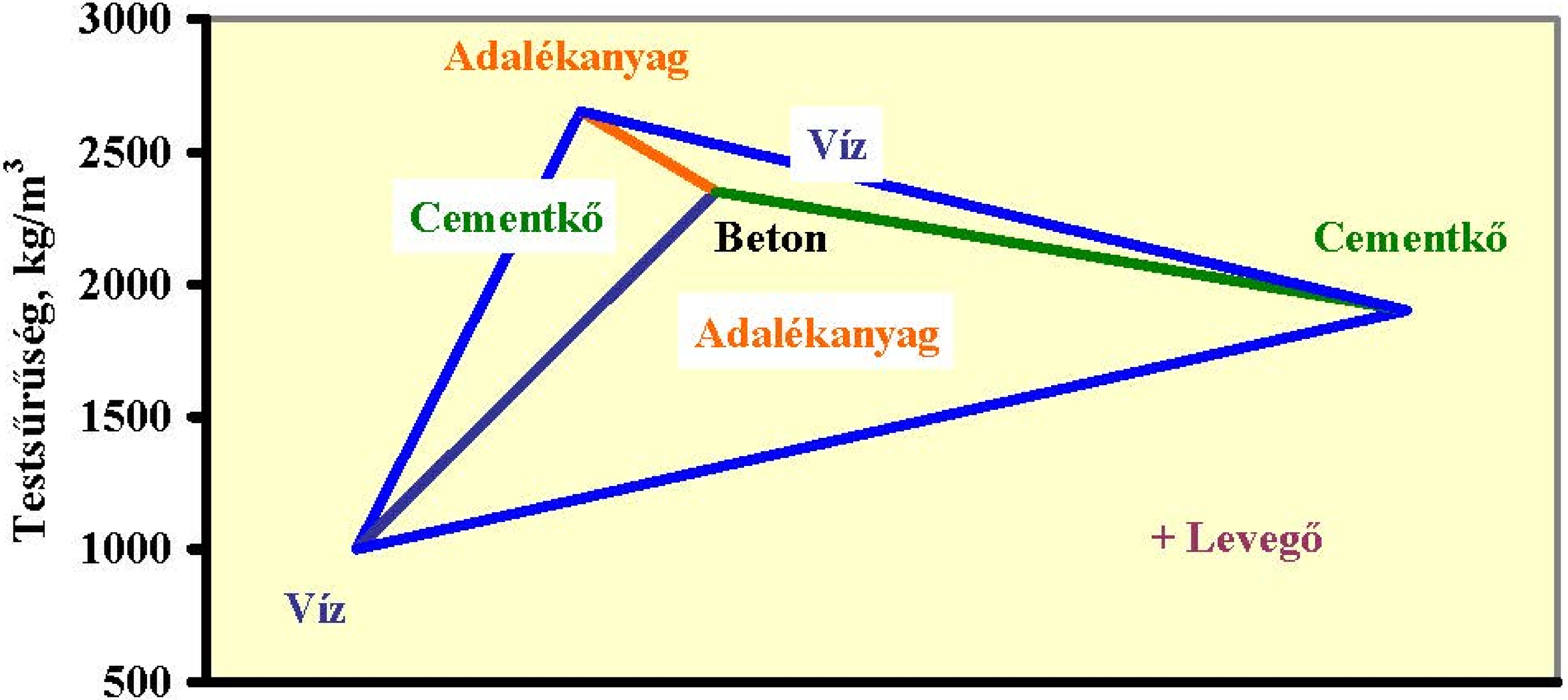
**Példa a beton nyomószilárdságára**
**a testsűrűség és a levegőtartalom függvényében**



**Ennek hátterében az áll, hogy amíg az adalékanyag testsűrűsége 2450 - 2850, átlagban 2650 kg/m$^3$, addig a cementkő testsűrűsége csak mintegy 1900 kg/m$^3$. *Powers* szerint ugyanis a cementkő porozitása a hidratáció kezdeti és végső állapotában például x = 0,35 értékű víz-cementtényező esetén 0,52 - 0,30 vagy például x = 0,60 értékű víz-cementtényező esetén 0,65 - 0,49. Ez azt jelenti, hogy ha változatlan beton pórustartalom mellett a cementkő:adalékanyag arányt csökkentjük, akkor a beton testsűrűsége növekedni fog.**

**A beton voltaképpen egy négyfázisú, heterogén, durva diszperz rendszer, amely friss állapotában inkoherens, durva szuszpenzió (szilárd részek folyékony közegben), megszilárdult állapotában pedig koherens, kvázi-viszkózus fázissal (cementkő) és rugalmas fázissal (adalékanyag) rendelkező viszkóelasztikus anyag.**

# A beton fázisdiagramja



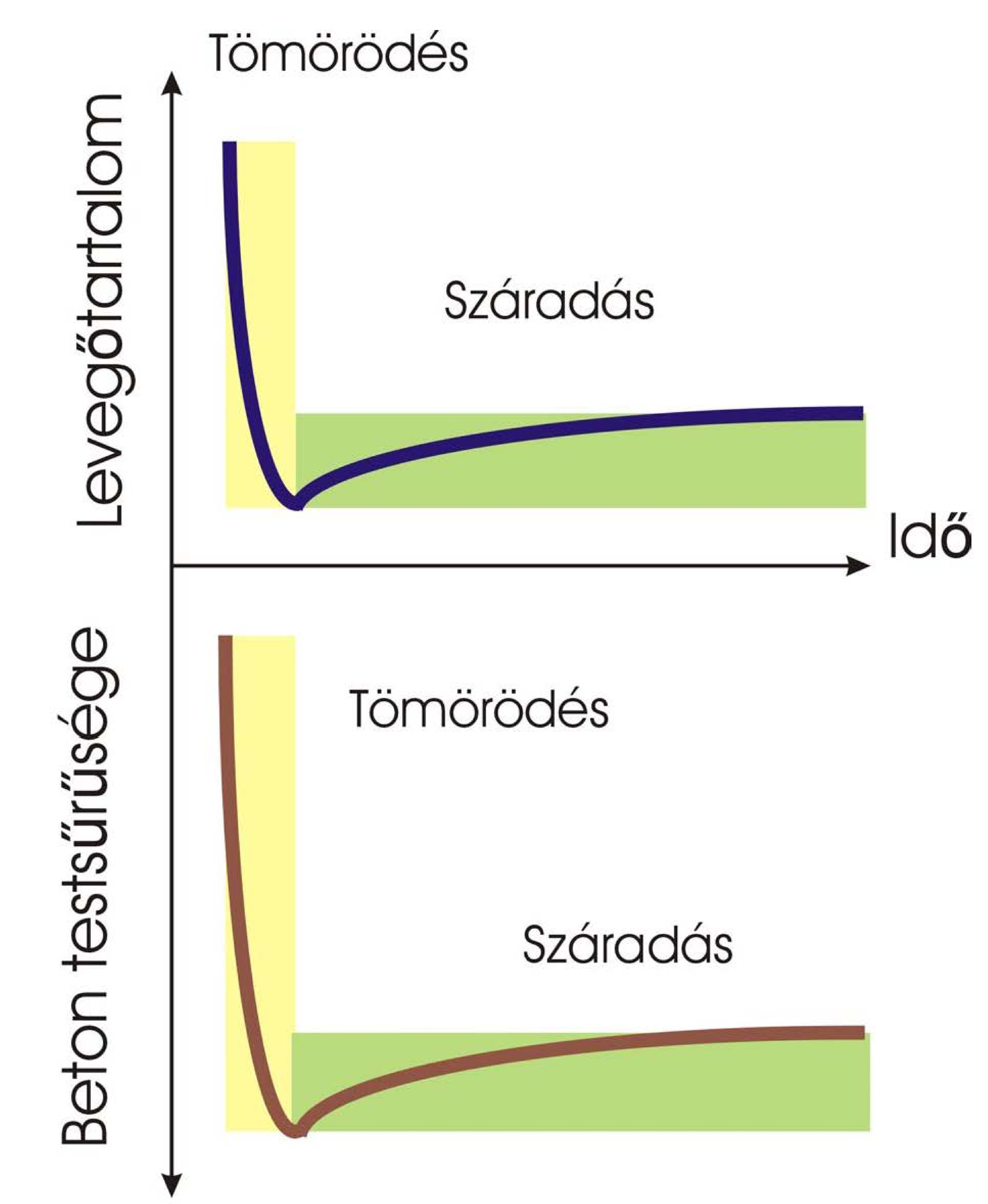

**Fázisok**

**B**eton = **A**dalékanyag + **C**ementkő + **V**íz (a cementkő kapilláris vize és a szabad víz) + **L**evegő

# A beton tulajdonságait befolyásoló tényezők:

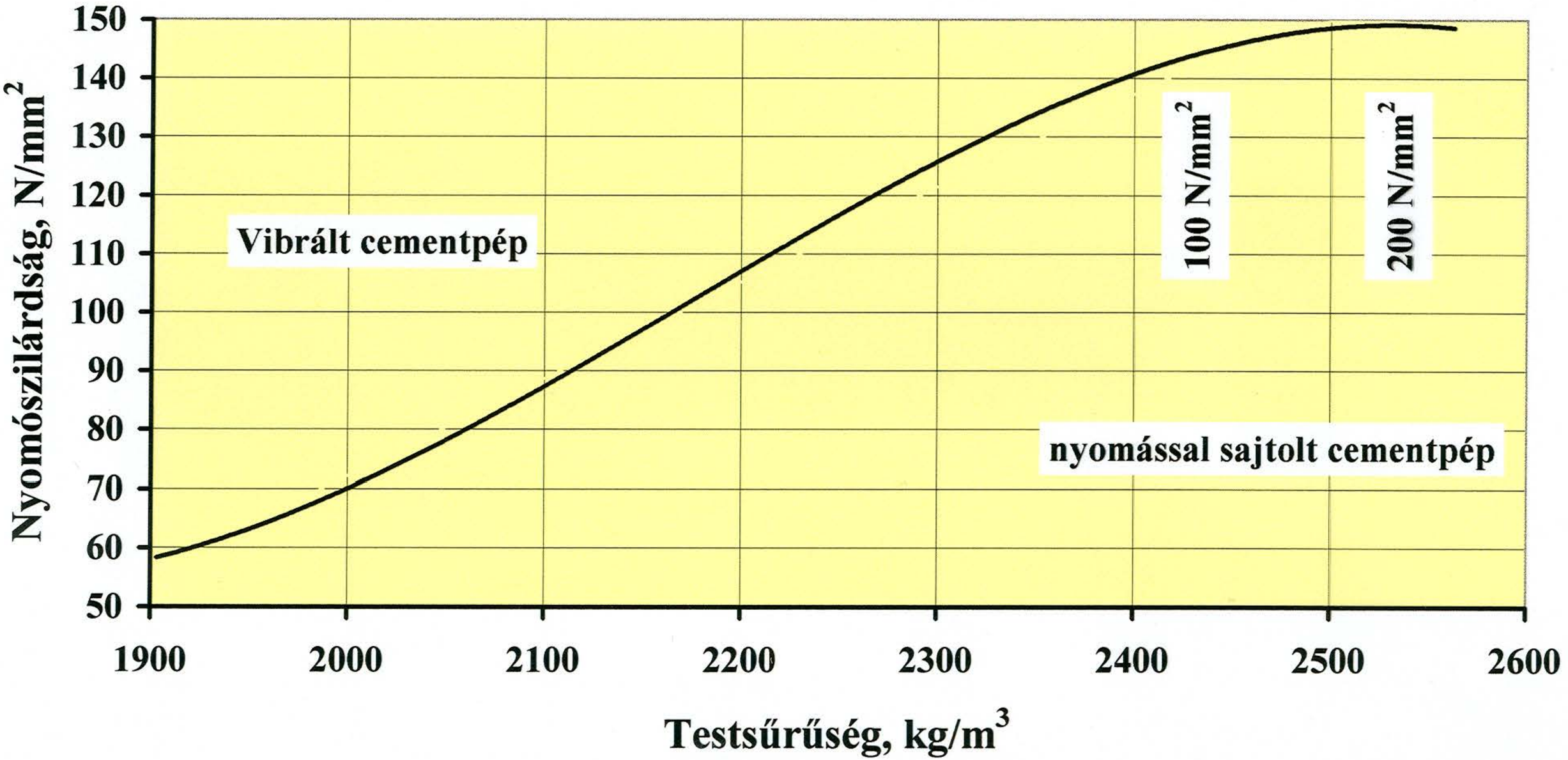
<table>
<tr><td colspan="6">Összetétel</td></tr>
<tr><td>minőség</td><td>←</td><td colspan="2">Adalékanyag</td><td>→</td><td>mennyiség</td></tr>
<tr><td>minőség</td><td>←</td><td colspan="2">Cement</td><td>→</td><td>mennyiség</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Víz</td><td>kötött</td><td rowspan="2">→</td><td rowspan="2">mennyiség</td></tr>
<tr><td>kötetlen</td></tr>
<tr><td>minőség</td><td>←</td><td colspan="2">Adalékszer</td><td>→</td><td>mennyiség</td></tr>
<tr><td>eloszlás</td><td>←</td><td colspan="2">Levegő</td><td>→</td><td>mennyiség</td></tr>
<tr><td colspan="6">Struktúra<br>tömörség, homogenitás, hidratációs fok,<br>felületi kötés, póruseloszlás és jelleg</td></tr>
<tr><td colspan="6">Beton kora<br>száradás, szilárdulás, spontán alakváltozás</td></tr>
<tr><td colspan="6">Környezeti hatások<br>klimatikus körülmények,<br>kémiai és mechanikai terhelés</td></tr>
</table>

Cement-kő




A beton tömörségének változása

# A 28 napos korú cementkő nyomószilárdsága a testsűrűség függvényében. A próbatest mérete: ϕ 25*25 mm



A beton tömörsége és levegőtartalma a cementkő (megszilárdult cementpép) tömörítettségétől függ, ami kihat a cementkő testsűrűségére és nyomószilárdságára.

A vibrálással tömörített cementkő testsűrűsége tehát csak mintegy 1900 kg/m$^3$, szemben a homokos kavics adalékanyag átlagos 2650 kg/m$^3$ értékű testsűrűségével, és porozitásuk hozzávetőlegesen úgy viszonylik egymáshoz, mint 0,38:0,15.

Ezért mondhatjuk, hogy a beton testsűrűségének növekedését másrészt a cementkő:adalékanyag tömegarány befolyásolja.

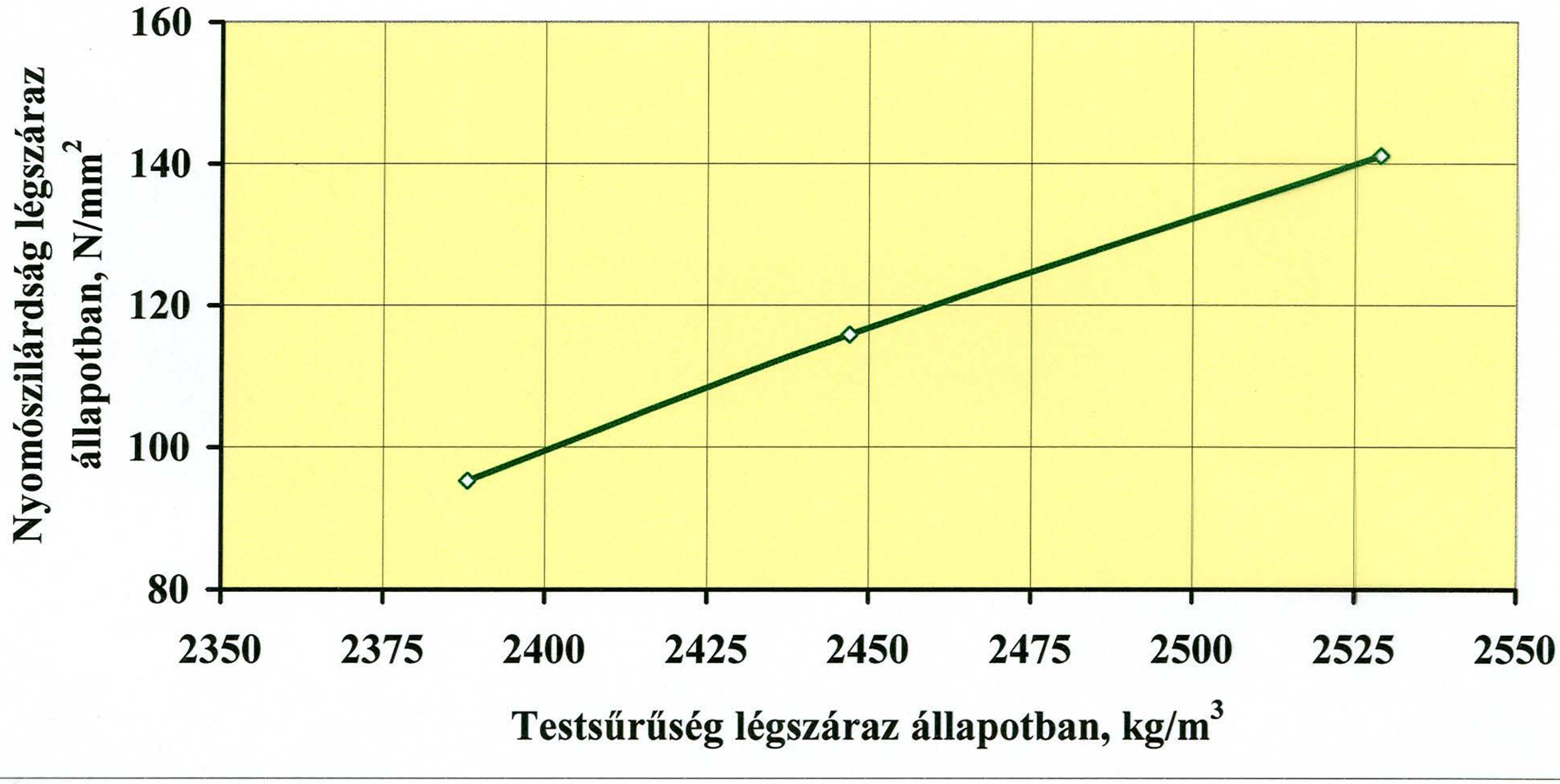
Megállapíthatjuk továbbá, hogy a beton szilárdságára, testsűrűségére, általában minden tulajdonságára a cementkő:adalékanyag tömegarányon, tehát az adalékanyag mennyiségén kívül az adalékanyag minősége is nagy hatással van.

Ez teszi indokolttá, hogy a beton adalékanyagok

- tulajdonságaival és minőségével,
- minőségi követelményeivel,
- minőségének vizsgálatával

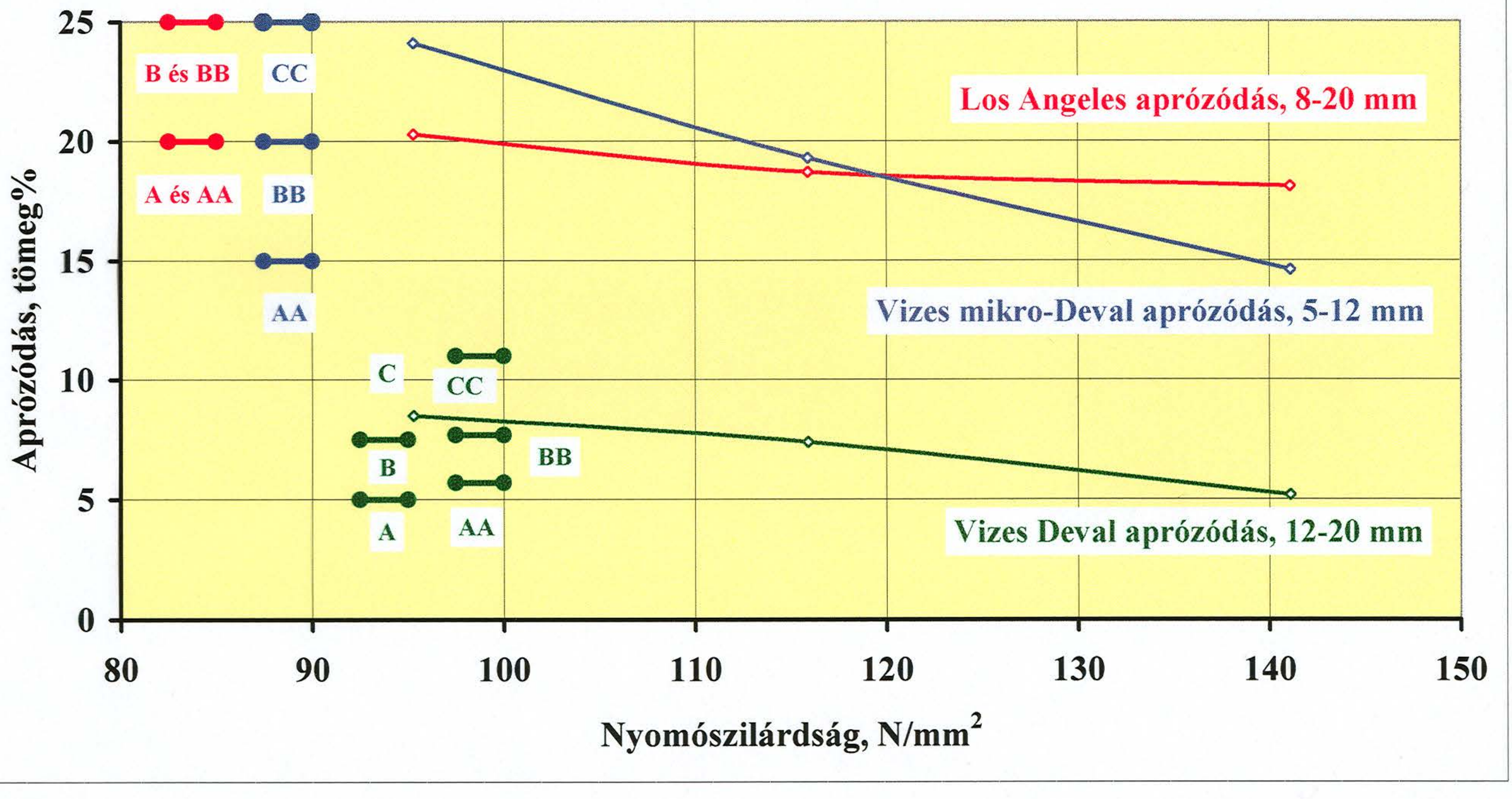
foglalkozzunk, és azokat megismerjük.

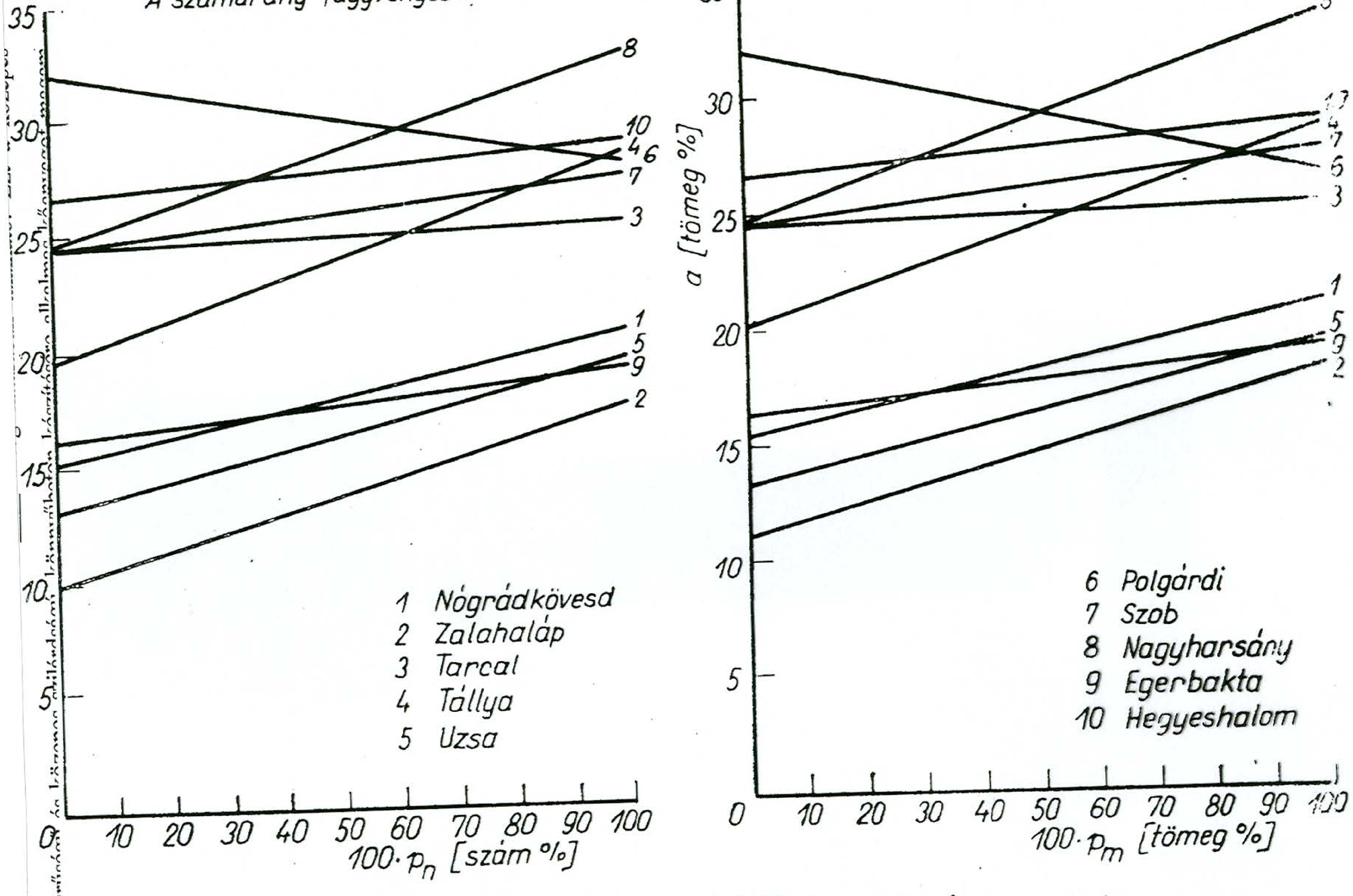
## Összefüggés egy andezit testsűrűsége és nyomószilárdsága között




## Összefüggés egy andezit nyomószilárdsága és aprózódása között

A, B, C az MSZ 18291-78 szerinti, AA, BB, CC az ÚT 2-3.601:1998 szerinti kőzetfizikai csoportok jele

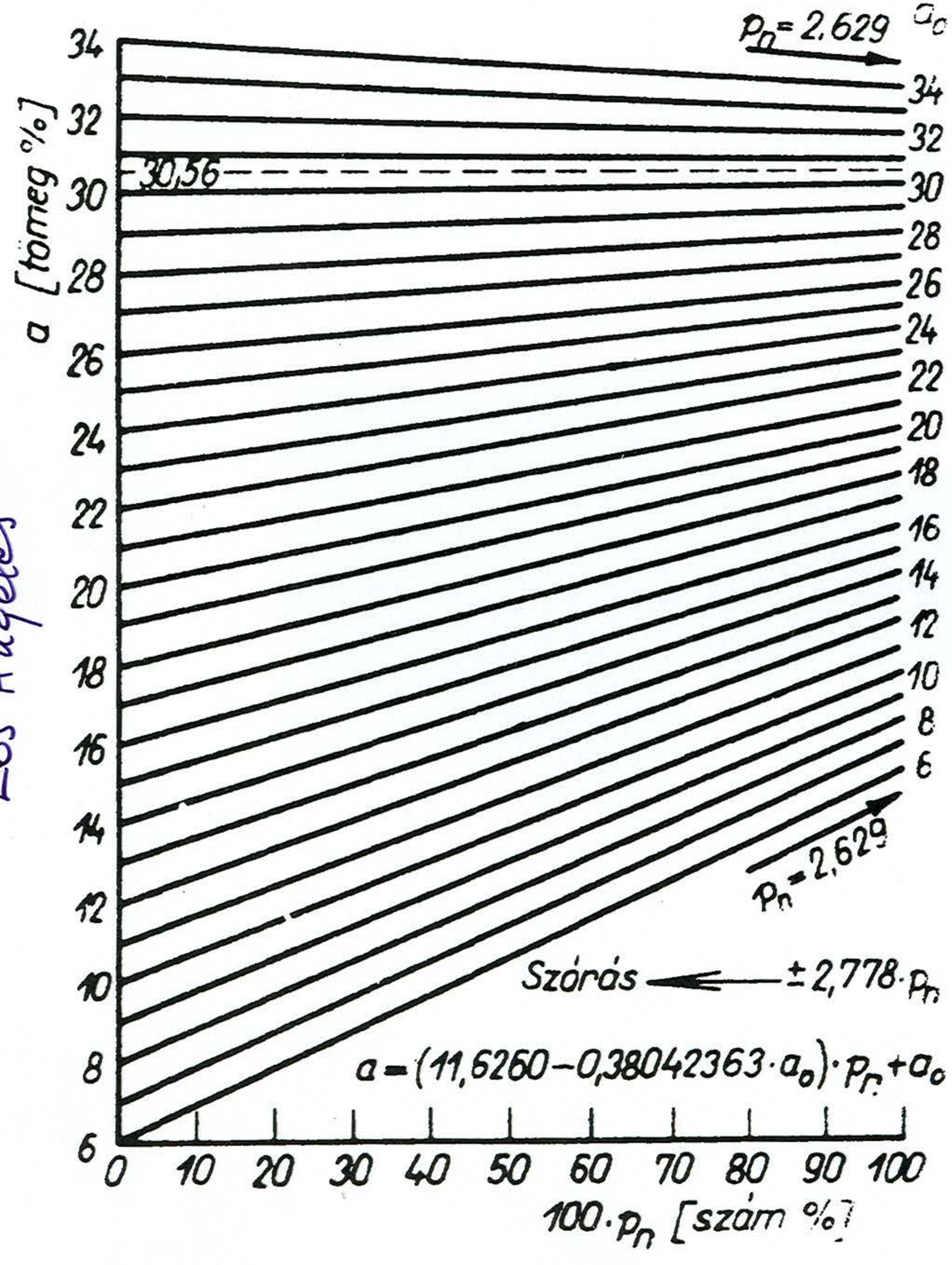




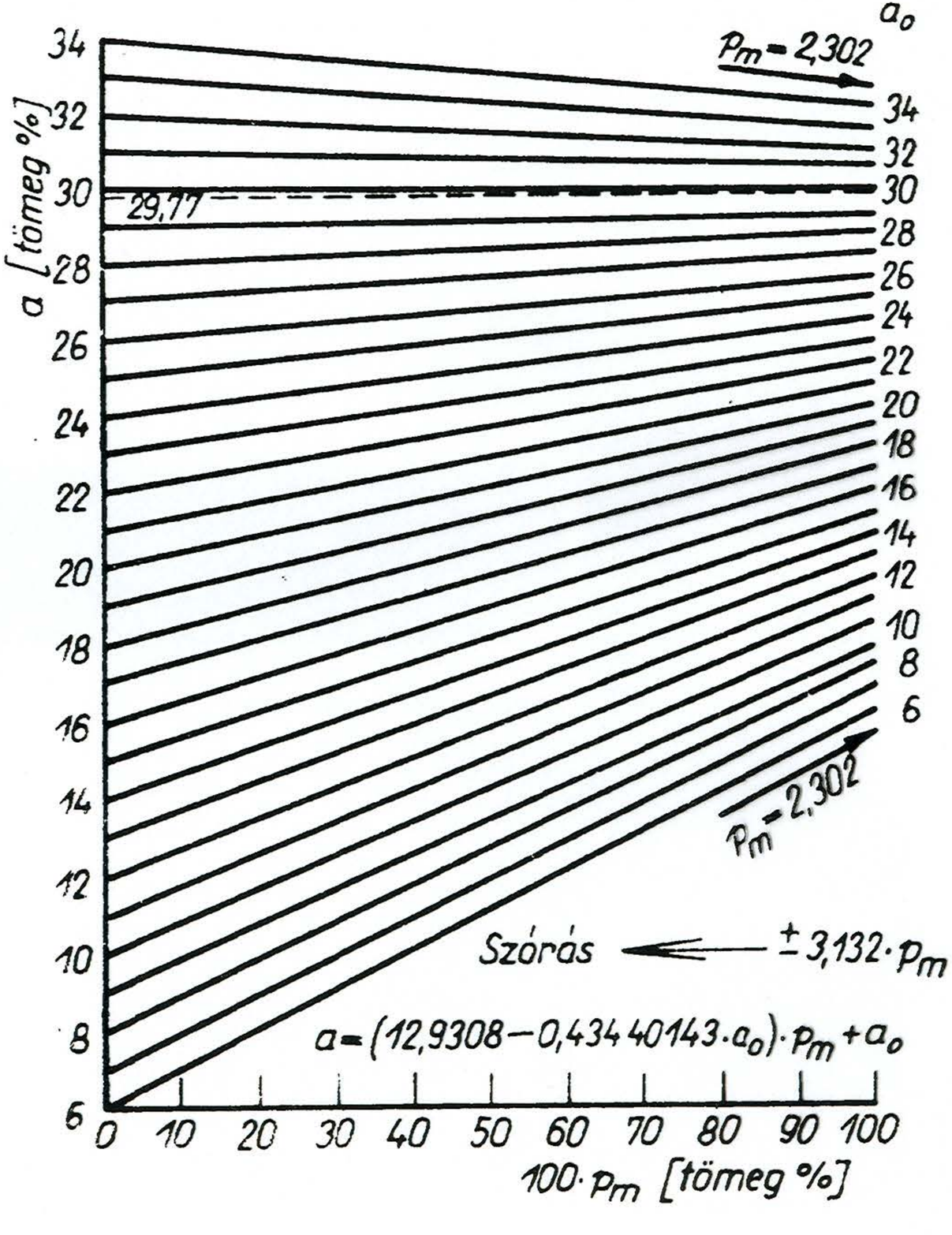

**2 ábra. A Los Angeles vizsgálat aprózódási vesztesége a minta szemalak szerinti selejtarányának függvényében**

Los Angeles

## A számarány függvényében




## A tömegarány függvényében



**A betontervezési képletek érdekes - voltaképp érthető - módon, lényegében csak az adalékanyagok szemszerkezetével szemben támasztanak részletes követelményeket, a szilárdságra legfeljebb az az általános előírás vonatkozik, miszerint az adalékanyag nyomószilárdsága a beton minősítő szilárdságának legalább háromszorosa illetve legalább 50 N/mm$^2$ legyen. Ez a gyakorlat mindaddig elfogadható, amíg - hazai kavicsaink kellő szilárdságának tudatában - csak kavicsbetonokról beszélünk, mihelyt azonban általában a betonokról vagy a zúzottkőbetonokról is szólunk, több szempontra kiterjedő megközelítésre van szükség.**

**Ennek a *dr. Palotás László-féle* betontervezési képletek úgy tesznek eleget, hogy feltételezik a kavicsbeton és a zúzottkőbeton eltérő víz-cementtényező igényét, amely**

**kavicsbeton esetén:** $$x = h * h_0 * h_1 * \left[ 0{,}1 + \frac{23}{c} * (11 - m) \right]$$

**zúzottkőbeton esetén:** $$x = h * h_0 * h_1 * \left[ 0{,}1 + \frac{25}{c} * (12 - m) \right]$$

**Így például, ha**

**a konzisztencia kissé képlékeny:** $h = 1{,}15$

**a cement minőség CEM I 42,5:** $h_0 = 1{,}00$

**a legnagyobb szemnagyság 16 mm:** $h_1 = 1{,}01$

**a cement mennyisége:** $c = 300 - 400\ kg/m^3$

**a finomsági modulus értéke:** $m = 5{,}5 - 7{,}0$

**akkor az** $x = f(m, c)$ **függvény és a**

$K_{m,\square 150} = f(m, c)$ **függvény szerint**

- **azonos nyomószilárdság eléréséhez a kavicsbetonhoz képest a zúzottkőbeton többlet cement igénye 100 kg/m$^3$, (Mindkét ábrán a zúzottkőbeton c = 400 kg/m$^3$-hez tartozó görbéje a kavicsbeton c = 300 kg/m$^3$-hez tartozó görbéjével van fedésben.)**
- **azonos cementtartalom esetén a zúzottkőbeton víz-cementtényezője a kavicsbeton víz-cementtényezőjének átlagban 1,24-szorosa, miközben a zúzottkőbeton nyomószilárdsága a kavicsbeton nyomószilárdságának csak 0,77-szorosa.**

**Ha azonos finomsági modulus és azonos víz-cementtényező mellett a kavicsbetonéval azonos zúzottkőbeton nyomószilárdságot kívánunk azonos cementtartalom mellett elérni, akkor a víz-cementtényező változatlanságát folyósítószer adagolásával kell biztosítani. Ebben az esetben a folyósítószeres zúzottkőbeton víz-cementtényezője:**

$$x_{\text{folyósított zúzottkőbeton}} = 0{,}807 * x_{\text{folyósítószer nélküli zúzottkőbeton}}$$

**A képletek segítségével megtervezett beton összetételét laboratóriumi kísérletekkel kell ellenőrizni.**

**Kísérleti tapasztalatunk, hogy a zúzottkőbetonok többlet cement igénye a tervezési képletek szerinti mennyiségnél szerényebb, sőt a zúzottkőbetonnal a kavicsbetonhoz képest nyomószilárdság, hajlító-húzószilárdság, kopásállóság, időállóság növekedés érhető el, és ezek értéke még a zúzottkő szemalakjával, kőzetfizikai tulajdonságaival, ásványi összetételével is kedvezően befolyásolható.**

**Ez azért fontos körülmény, mert hazánkban zúzottkőbetonból szerkezeti építmények csak nagyon ritkán, indokolt esetben készülnek, az útpályaszerkezeti, repülőtéri zúzottkőbetonok esetén pedig a nyomószilárdsági követelményt - mondhatni - megelőzve a hajlító-húzószilárdság, a kopásállóság, az időállóság, a kemikáliáknak való ellenállás követelménye jelentős mértékben előtérbe kerül.**

**A zúzottkő betonadalékanyagok tulajdonságait nagyszabású kutatás keretében mintegy tizenöt évvel ezelőtt a Budapesti Műszaki Egyetem Mérnökgeológiai (akkor még Ásvány- és Földtani) Tanszéke és a SZIKKTI Betonosztálya az ÉVM 9. sz. Célprogram Bizottsága megbízásából együtt vizsgálta. A kutatási téma vezetője *dr. Kertész Pál egy. docens úr* volt.**

**Ennek során 56 kisebb-nagyobb hazai kőbányát kerestünk fel, vizsgálati terv alapján minden bányából minta anyagot gyűjtöttünk be. Minden kőanyag előfordulás térképi kataszterre került, a kőanyagokról illetve azokkal lelőhely és kőzettani leírás, ásványtani, derivatográfiás, kőzetfizikai és időállósági vizsgálat, összehasonlító kavicsbeton - zúzottkőbeton kísérlet készült. Majd a vizsgálati eredményeket rendszerbe foglaltuk, értékeltük, következtetéseket vontunk le.**

**A kutatási jelentést ma is értékes adattárként használjuk.**

# Különböző zúzottkövek betonadalékanyagként való alkalmazásának kutatása

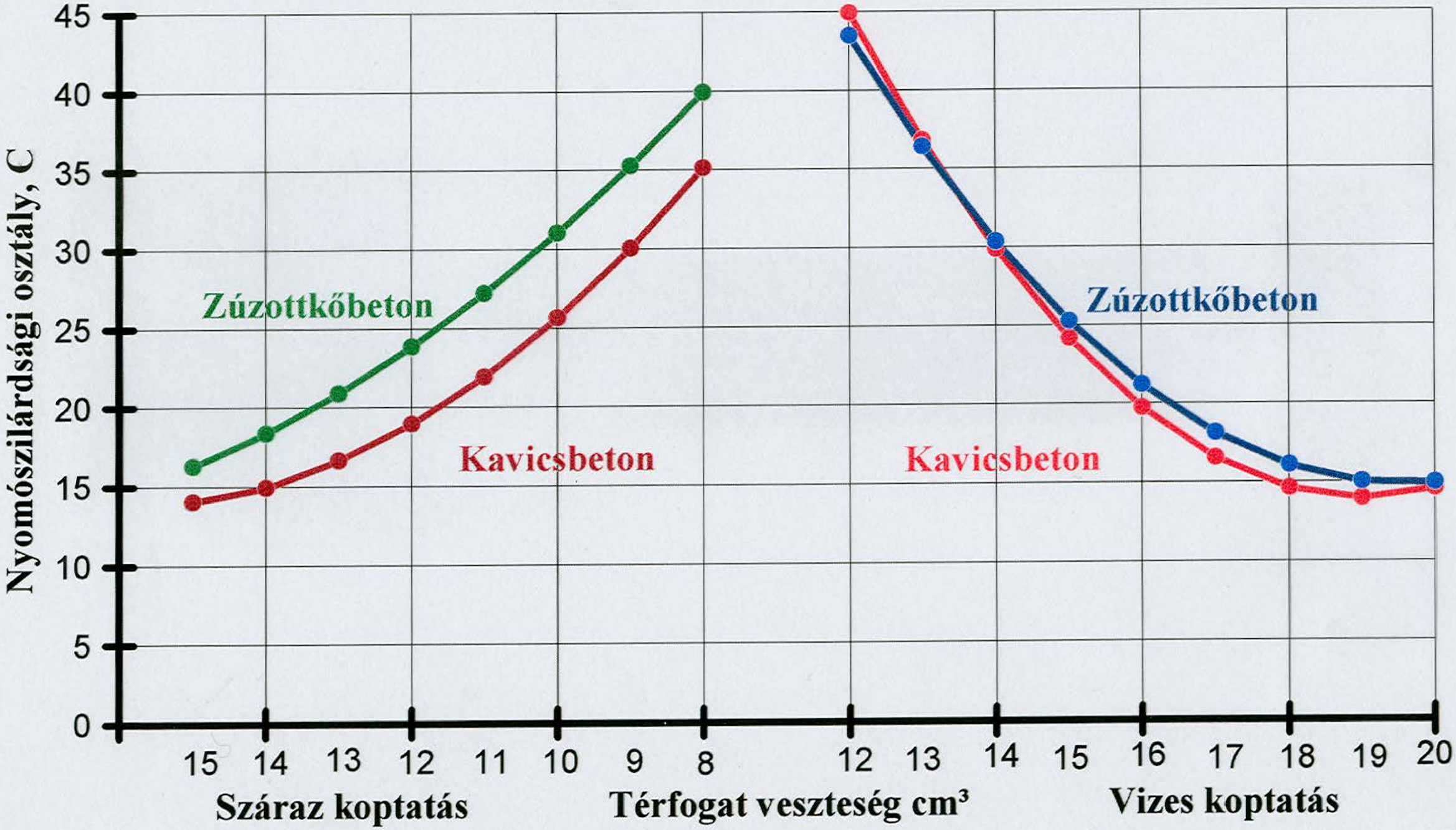
Témaszám: 3-44-III/79

I. kötet

BME
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

SZIKKTI

# Összefüggés a Böhme kopási térfogat veszteség és a beton nyomószilárdsági osztály között



# BETONOK KOPÁSÁLLÓSÁGI OSZTÁLYAI ÉS FOKOZATAI

| Kopásállósági | | | Térfogatveszteség, legfeljebb $cm^3$ | |
|---|---|---|---|---|
| osztály | fokozat | jel | száraz | vizes |
| I. | Különlegesen kopásálló | k 6/9 | 6 | 9 |
| II. | Igen kopásálló | k 8/12 | 8 | 12 |
| III. | Fokozottan kopásálló | k 10/15 | 10 | 15 |
| IV. | Kopásálló | k 12/18 | 12 | 18 |
| V. | Mérsékelten kopásálló | k 14/21 | 14 | 21 |
| VI. | Gyengén kopásálló | k 16/24 | 16 | 24 |

# Valamely kopásállósági fokozat biztosításához szükséges beton nyomószilárdsági osztály

| Kopás-állósági jel | Adalékanyag típusa | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Homokos kavics | Zúzottkő | | | |
| | | Eruptív | | Karbonátos | |
| | | Kőzetfizikai csoport | | | |
| | | A | B | legalább B | C |
| | | Beton nyomószilárdsági osztály (ENV 206) | | | |
| k 6/9 | 45/55 | 50/60 | - | 55/65 | - |
| k 8/12 | 35/45 | 40/50 | - | 45/55 | - |
| k 10/15 | 30/37 | 35/45 | - | 40/50 | - |
| k 12/18 | 25/30 | 30/37 | - | 35/45 | - |
| k 14/21 | 20/25 | 25/30 | 25/30 | 30/37 | - |
| k 16/24 | 16/20 | 20/25 | 20/25 | 25/30 | 25/30 |

# A kopásállóság szempontjából egyenértékű beton nyomószilárdsági osztályok

| Kopásállósági | | Kavicsbeton | | Eruptív | | Karbonátos | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | zúzottkőbeton | | | |
| osztály | térfogat vesztes. legfelj. $cm^3$ | Időjárás- | | Időjárás- | | Időjárás- | |
| | | tól védett helyen | nak kitett helyen | tól védett helyen | nak kitett helyen | tól védett helyen | nak kitett helyen |
| | | Beton nyomószilárdsági osztály (ENV 206) | | | | | |
| I. | 6 | 45/55 | 55/65 | 50/60 | - | 55/65 | - |
| II. | 8 | 35/45 | 50/60 | 40/50 | 55/65 | 45/55 | - |
| III. | 10 | 30/37 | 45/55 | 35/45 | 50/60 | 40/50 | 55/65 |
| IV. | 12 | 25/30 | 40/50 | 30/37 | 45/55 | 35/45 | 50/60 |
| V. | 14 | 20/25 | 35/45 | 25/30 | 40/50 | 30/37 | 45/55 |
| VI. | 16 | 16/20 | 30/37 | 20/25 | 35/45 | 25/30 | 40/50 |

# EMBERI JÁTSZMÁK

Eric Berne

LÉLEK kontroll

**<u>Részlet *Eric Berne*: Emberi játszmák c. könyvéből:</u>**

**"A kompromisszum folyamatát különböző kifejezésekkel jelölhetjük, például a "szublimáció" szóval, de bárminek nevezzük is, az eredmény azonos: a gyermeki ingeréhség részlegesen átalakul valamivé, amit elismeréséhségnek nevezhetünk. Minél bonyolultabbá válik a kompromisszum, annál egyénibb lesz az illető személy elismerési vágya; ezek a megkülünböztető jegyek teszik változatossá a társas érintkezést, és határozzák meg az egyén sorsát. Egy filmszínésznek esetleg heti száz "simogatás" is kell hódolóinak névtelen és alaktalan tömegétől ahhoz, hogy a gerincagya ki ne szikkadjon. Egy tudós ezzel szemben akkor is megőrizheti fizikai és lelki egészségét, ha valamely nagyra becsült mester évente akár csak egy "simogatásban" részesíti.** (Kiemelés: K. T.)

**A "simogatást" az intim fizikai kapcsolat általános fogalmának értelmében használjuk; a gyakorlatban ez különféle formákat ölthet. Vannak, akik..."**

# Bélyegsorozat dr. Kertész Pál születésének évéből

ca

## 1928. SZENT ISTVÁN (I)

Szent István-ünnepségek alkalmából.

**Rézny. VIII-Vj. 14¾ F.fog. (□)**

T.: *Helbing Ferenc*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 486 | 441 | 8 f zöld | *ca* | 20,— | 10,— |
| 487 | 442 | 16 f narancsvörös | *ca* | 20,— | 10,— |
| 488 | 443 | 32 f kék | *ca* | 110,— | 80,— |
| | | **sorozat (3 érték)** | | **150,—** | **100,—** |

*F* 1928. aug. 1—dec. 31. *P* 440 200 fogazott sorozat.

Kedves Pál,

Isten

éltessen sokáig!

Budapest, 1998. október 16.

ca

**1928. SZENT ISTVÁN (I)**

Szent István-ünnepségek alkalmából.

Rézny. VIII-Vj. 14¾ F.fog. (□)

T.: *Helbing Ferenc*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 486 | 441 | 8 f zöld | ca | 20,— | 10,— |
| 487 | 442 | 16 f narancsvörös | ca | 20,— | 10,— |
| 488 | 443 | 32 f kék | ca | 110,— | 80,— |
| | | sorozat (3 érték) | | 150,— | 100,— |

*F* 1928. aug. 1—dec. 31. *P* 440 200 fogazott sorozat.

# ÖSSZEFOGLALÁS

A betontervezési képletek érdekes, voltaképp érthető módon lényegében csak az adalékanyagok szemszerkezetével szemben támasztanak követelményeket, a szilárdságra legfeljebb az az ökölszabály vonatkozik, miszerint az adalékanyag nyomószilárdsága a betonénak legalább háromszorosa illetve 50 N/mm$^2$ legyen, míg a rugalmassági modulussal még csak ökölszabály sem foglalkozik. Ez a gyakorlat mindaddig elfogadható, amíg - hazai kavicsaink kellő szilárdságának tudatában - csak kavicsbetonokról beszélünk, mihelyt azonban általában a betonokról vagy a zúzottkőbetonokról is szólunk, több szempontra kiterjedő megközelítésre van szükség.

Törekvésünk volt, hogy a betonadalékanyagokkal kapcsolatos ismereteket mind a szilárdság, mind a szemszerkezet tekintetében gyarapítsuk. Az adalékanyagok és a betonok tulajdonságai közötti összefüggést leíró, általános érvényű képletet bemutatni nem tudunk, de bizonyos részeredményekről szívesen számolunk be. Ilyenek:

- Az adalékanyag szemcsés kőanyaghalmaz, ezért célszerű megismerni a kőanyag szabályos próbatesten mért nyomószilárdsága és a kőanyaghalmazon mért, termék minősítő erejű aprózódása, valamint a testsűrűség közötti összefüggést.
- Előnyös tudnunk, hogy az adalékanyag szemalakja miként befolyásolja a kőanyaghalmaz aprózódását, továbbá a friss és megszilárdult beton tulajdonságait.
- Célszerű megadni, sőt szabályozni, hogy adott nyomószilárdsági osztályú beton előállításához milyen aprózódási veszteségű vagy kőzetfizikai csoportú adalékanyagot szabad felhasználni.
- Ismernünk kell az adalékanyag szemmegoszlási tulajdonságait, azok jellemzőit, kapcsolatukat a beton tulajdonságaival.
- Nehéz az adalékanyag hézagtérfogata fogalmának vizsgálata és átvezet a beton cementpéppel való telítettsége legalább olyan nehezen kezelhető fogalomkörébe.
- Vizsgálva a beton levegőtartalma, testsűrűsége, nyomószilárdsága kapcsolatát, abban burkoltan, épp a péptelítettség folytán, az adalékanyag hatása is megjelenik.

# Bontott, újrahasznosított adalékanyag

| | |
|---|---|
| Németül: | Rezyklierter Zuschlag(stoff), Rezyklierte Gesteinskörnung |
| Angolul: | Recycled aggregate |
| Franciául: | Granulat recyclé |

Bontott építési törmeléket feldolgozó mobil gépsor

A régi épületek és szerkezetek, útpályaburkolatok bontási törmelékét kellő fizikai feldolgozás után, anyagszerkezeti (kémiai) átalakítás nélkül, beton-adalékanyagként újra fel lehet használni. A bontott építési hulladékot lehetőleg építőanyag fajtánként dolgozzák fel. A feldolgozást mobil gépsoron szokták végezni, amelynek anyagfogadó bunkerébe a bontott törmeléket hidraulikus törőfejjel is ellátott rakodógéppel szállítják. A mobil gépsor előosztályozóból, pofás előtörőből és a kihordó szalaghoz illesztett vastalanítóból áll. Az előosztályozásnál kiosztályozott finom anyagot szállítószalaggal oldalra hordják, az nem kerül az előtörőre. Az előtört és betonvasaktól megtisztított bontott anyagot rakodógéppel vagy szállítószalaggal általában mobil osztályozó berendezésre juttatják, amely a törmeléket a betontechnológiában szokásos adalékanyag frakciókra bontja. Az osztályozott frakciókat a tárolótéren elkülönítve helyezik el.

A bontási törmelékek újrahasznosítására lehetőséget ad az MSZ EN 206-1:2002 beton szabvány, amely kimondja, hogy „az adalékanyagok lehetnek természetesek, mesterségesek vagy korábbi szerkezetekből újra hasznosított anyagok". A bontott, újrahasznosított adalékanyagok betonkészítéshez való felhasználhatóságának feltételeivel az MSZ EN 206-1:2002 szabvány nem foglalkozik, és annak nemzeti alkalmazási dokumentuma (MSZ 4798) is csak annyit tartalmaz, hogy egyebek mellett „...az újrahasznosított adalékanyagok kőzettani, kőzetfizikai, kémiai tulajdonságai (is) rendkívül változatosak, ezért azok beton adalékanyagként való alkalmasságát első sorban ezek a tulajdonságok döntik el, amelyeket mindenkor meg kell vizsgálni".

A harmonizált ◆ MSZ EN 12620:2003 beton-adalékanyag (homokos kavics, kavics ◆), MSZ EN 13139:2003 habarcs-adalékanyag (homok ◆), MSZ EN 13043:2003 aszfalt-adalékanyag (zúzottkő ◆), MSZ EN 13055-1:2003 könnyű-adalékanyag ◆ szabványok érvénye is kiterjed a bontott, újrahasznosított adalékanyagok tulajdonságaira. E szabványok szerint az olyan adalékanyagokat, mint például a bontott adalékanyagok, amelyek alkalmazására nincs kellő tapasztalat, gondosan meg kell vizsgálni, és kedvező vizsgálati eredmény esetén is szükség lehet a

mindenkori alkalmazási területre vonatkozó külön szabályozásra. Ezek a szabványok az építési termékekre vonatkozó európai irányelvek (direktívák) követelményeinek teljesülését tárgyaló ZA.1 mellékletben megjegyzik, hogy az érvényük alá tartozó valamennyi adalékanyag követelmény-rendszere további követelményekkel kiegészíthető, például az európai szabvánnyal együtt érvényes nemzeti előírás alakjában. Magyarországon az - a bontott, újrahasznosított adalékanyagokat is érintő - európai adalékanyag szabványok nemzeti alkalmazási dokumentumának kidolgozása még várat magára. A bontott építési törmelék adalékanyagú beton beton- és vasbetonépítési irányelvét a *fib Magyar Tagozata* 2004-ben tervezi kiadni.

A bontott adalékanyag kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége, kiszárított és laza állapotban mért halmazsűrűsége alapján közönséges (normál) adalékanyag vagy könnyű-adalékanyag ❖ lehet, és a szilárd, kiszárított, 28 napos korú beton testsűrűsége alapján közönséges (normál) beton vagy könnyűbeton ❖ adalékanyaga lehet. A bontott adalékanyag közönséges adalékanyag, ha a testsűrűsége > 2000 kg/m$^3$ és < 3000 kg/m$^3$, és könnyű-adalékanyag, ha a testsűrűsége ≤ 2000 kg/m$^3$ és halmazsűrűsége ≤ 1200 kg/m$^3$. A bontott adalékanyagú beton közönséges beton, ha a testsűrűsége 28 napos korban > 2000 kg/m$^3$ és ≤ 2600 kg/m$^3$, és könnyűbeton, ha a testsűrűsége 28 napos korban ≥ 800 kg/m$^3$ és ≤ 2000 kg/m$^3$.

Újrahasznosított beton-adalékanyagként legelterjedtebben a beton, a vegyes, és a tégla törmeléket használják fel. Ezek csoportba sorolása a bontott törmelék 4 mm feletti szemnagyságú szemeinek építőanyagok szerinti összetétele alapján történhet:

| Bontott, újrahasznosított adalékanyagok csoport beosztása az építőanyagok szerinti összetétel alapján | Beton szemek | Tégla szemek | Habarcs szemek |
|---|---|---|---|
| | aránya a bontott törmelék 4 mm szemnagyság feletti tartományában, tömeg% | | |
| Beton törmelék | 85 - 100 | 0 - 13 | 0 - 2 |
| Beton-tégla vegyes törmelék | 50 - 85 | 13 - 43 | 2 - 7 |
| Tégla-beton vegyes törmelék | 15 - 50 | 43 - 73 | 7 - 12 |
| Tégla törmelék | 0 - 15 | 73 - 86 | 12 - 14 |
| feltételezve, hogy | $b_1$ - $b_2$ | $t_1$ - $t_2$ | $h_1$ - $h_2$ |
| akkor | $b_1 + t_2 + h_2 =$ =100 | $b_2 + t_1 + h_1 =$ =100 | $h_i = t_i/6$ |
| Például tégla-beton vegyes törmelék esetén: $b_1 = 15$, $t_2 = 73$, $h_2 = 12$, akkor $b_1 + t_2 + h_2 =$ 100 | | | |

A sűrűségi jellemzők alapján a *beton törmelék* közönséges adalékanyagnak, a *beton-tégla vegyes törmelék* általában könnyű-adalékanyagnak, a *tégla-beton vegyes törmelék* és a *tégla törmelék* könnyű-adalékanyagnak minősül. E különbség tétel a bontott, újrahasznosított beton tervezése szempontjából is fontos.

A sikeres betontervezéshez meg kell határozni a bontott, újrahasznosított adalékanyag építőanyagok szerinti összetételét, idegen anyag tartalmát szemrevételezéssel, testsűrűségét (MSZ EN 1097-6:2001), halmazsűrűségét (MSZ EN 1097-3:2000), vízfelvételét (MSZ EN 1097-6:2001), látszólagos porozitását ❖, fagyállóságát (MSZ EN 1367-1:2000, könnyű adalékanyag esetén: MSZ EN 13055-1:2003), szemmegoszlását (MSZ EN 933-1:1998), finomsági modulusát (MSZ 18288-5:1981), 0,02 mm alatti szemeinek térfogat%-át ülepítéssel (MSZ 18288-2:1984), oldható szulfát és klorid tartalmát (MSZ 18288-4:1984), szemalakját tolómérővel (MSZ EN 933-4:2000) illetve kifolyási tölcsérrel (MSZ 18288-3:1978). Beton törmelék esetén a kőzetfizikai csoportba soroláshoz (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998, MSZ 4798:2004) ismerni kell a Los Angeles (MSZ 18287-1:1990, MSZ EN 1097-2:2000), a mikro-Deval (MSZ 18287-6:1984, MSZ EN 1097-1:1998), esetleg a Deval (MSZ 18287-2:1983) aprózódást és a szulfátos kristályosítási veszteséget (MSZ 18289-3:1985, MSZ EN 1367-2:1999), könnyű adalékanyag esetén a halmazszilárdságot (MSZ EN 13055-1:2003). A kőanyaghalmazok olvasztósó-állóságának vizsgálatával kapcsolatban az MSZ EN 1367-1:2000 szabvány ad tájékoztatást.

Ha a bontott adalékanyag minősége a gondos feldolgozás ellenére sem felel meg a vonatkozó európai adalékanyag szabvány követelményének vagy beton illetve könnyűbeton készítés céljára nem alkalmas, akkor a tulajdonságait természetes adalékanyag hozzákeverésével lehet javítani.

**Felhasznált irodalom ide kattintva olvasható.**

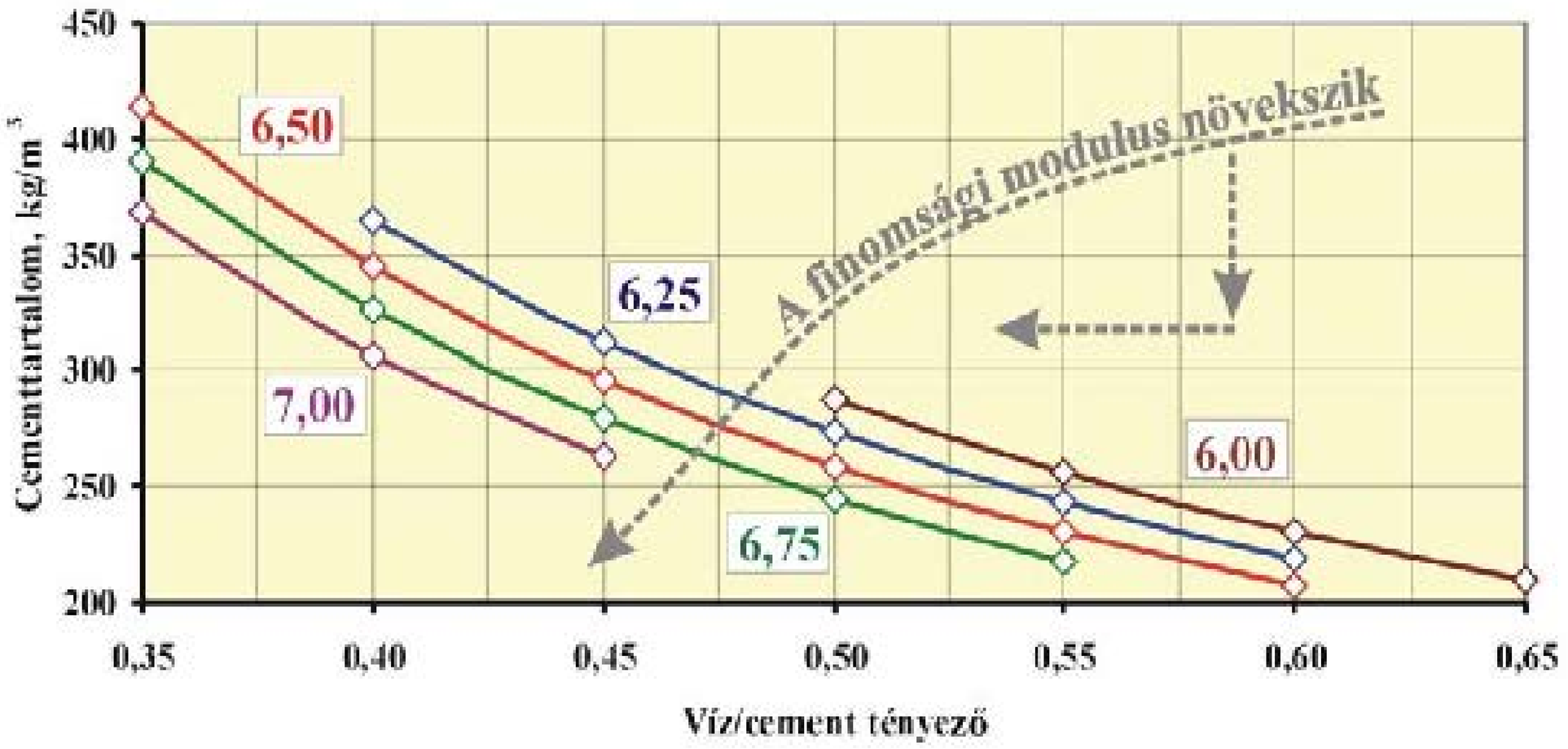
**Jelmagyarázat: ◈ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.**

| | | |
|---|---|---|
| **Megjelent a** | BETON<br>szakmai havilap | **2004. április havi számának 14-15. oldalán** |

| | | |
|---|---|---|
| | **Finomsági modulus és Hummel-féle terület** | |

| | | |
|---|---|---|
| Németül: | Finomsági modulus:<br>Hummel-féle terület: | Feinheitsmodul<br>Hummel-Fläche |
| Angolul: | Finomsági modulus:<br>Hummel-féle terület: | Fineness modulus<br>Hummel-area |
| Franciául: | Finomsági modulus:<br>Hummel-féle terület: | Module de finesse<br>Hummel-aire |

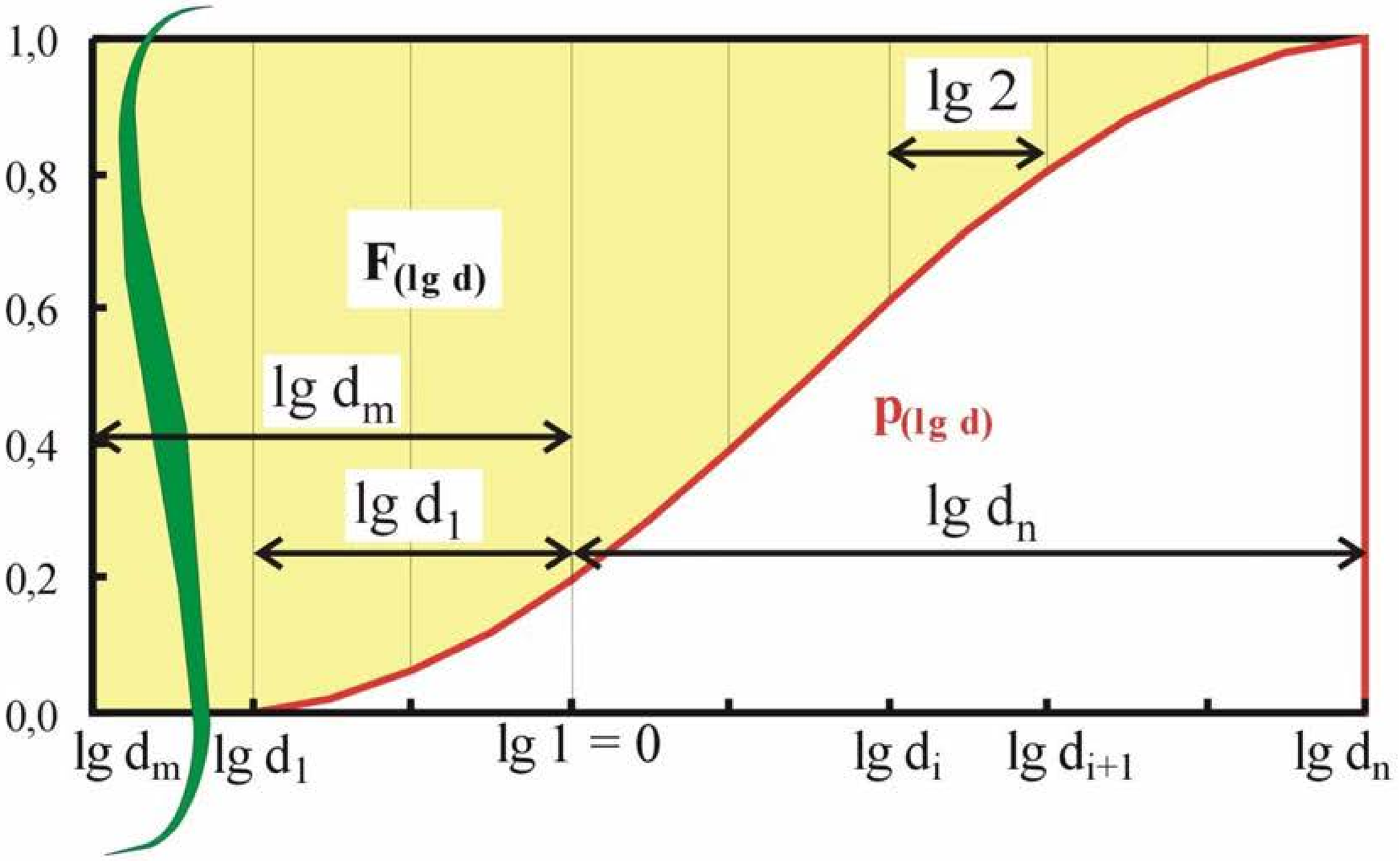
A grafikus megjelenésű adalékanyag szemmegoszlási görbék számszerű jellemzői a szemmegoszlási jellemzők ❖, amelyek közül a legnagyobb szemnagyság ❖ és a fajlagos felület ❖ mellett a finomsági modulus a legfontosabb. A betonadalékanyag finomsági modulusa szoros kapcsolatban áll a beton cementtartalmával ❖ és víz-cement tényezőjével ❖, növelésével az utóbbiak értéke csökkenthető (*1. ábra*).




1. ábra. A finomsági modulus, a cementtartalom és a víz/cement tényező kapcsolata CEM 42,5 jelű cement, földnedves konzisztencia és $D_{max}$=24 mm legnagyobb szemnagyság esetén

A betonadalékanyag termékek szemmegoszlása jellemzésének szokásos gyakorlata, hogy a szemmegoszlási görbe koordinátarendszerében a $(1\text{-}P_i)$ ordinátametszékeket — azaz a duplázódó lyukbőségű, ún. *Tyler*-féle szitasorozattal végzett szitálás göngyölített relatív tömegmaradékait — a görbe feletti olyan részterületek magasságának tekinti, amelyek alaphossza *lg*2. Ily módon könnyen kiszámítható a szemmegoszlási görbe feletti $F_{lgd}$ terület, vagy első alkalmazójáról elnevezve, a *Hummel-féle terület* (*2. ábra*) termékminősítő értéke:

$$F = \sum_{i=1}^{n} (1 - P_i) \cdot lg\,2 = m \cdot lg\,2$$




2. ábra. Az $F_{lgd}$ Hummel-féle terület

Ebből az összefüggésből egyszerű egyenletrendezéssel kapjuk az *Abrams-féle logaritmikus finomsági modulus* termékminősítő értékét, amit egyszerűen csak finomsági modulusnak szoktak nevezni:

$$m = \frac{F}{lg\ 2} = \sum_{i=1}^{n}(1 - P_i)$$

A Hummel-féle terület és a finomsági modulus értéke nevezetlen szám.

A finomsági modulus értéke tehát a szemmegoszlási görbéből az összes fennmaradt anyag mennyiségének a duplázódó lyukbőségű sziták helyén leolvasott összege, illetve ennek az összegnek a 100-ad része, ha a szemmegoszlási görbe koordinátarendszerének ordinátája %-os beosztású.

A *2. ábrából* kitűnik, hogy – az abszcisszatengely logaritmikus beosztása folytán – a *Hummel*-féle területet és az *Abrams*-féle finomsági modulus értékét jelentősen befolyásolja az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó $d_m$ szemnagyság, amelynek az értékét ma hazánkban a betontechnológiában, ha a legkisebb szemnagyság $d_1 \geq d_m$, gyakorlatilag és általában — egyéb feltételek hiányában — mindig $d_m$=0,063 mm-nek vesszük fel. Nem volt ez mindig, és ma sincs mindenhol így. *Abrams* eredetileg – angolszász mértékegységből átszámítva – a 0,147 mm-es szemnagyságtól számította a finomsági modulust.

A *Tyler-féle* szitasorozatot és logaritmikus abszcisszatengely beosztást az *Abrams* utáni idők betonkutatói is lényegében megtartották, de a legfinomabb szita lyukbőségeként, azaz az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemnagyságként főképp Európában, az idők folyamán a metrikus hosszmértéknek és egyéb szempontoknak jobban megfelelő, más-más számértékeket választottak. Ezekről az *1. táblázatban* ad áttekintést.

1. táblázat. Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság az Abrams-féle finomsági modulus és a Hummel-féle terület számításához

| Forrás megnevezése | Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság<br><br>$d_m$ [mm] |
|---|---|
| Abrams, 1918 | 0,147 |
| Hummel, 1930 | 0,1 |
| Spindel, 1931 | 0,001 |
| Stern, 1932 | 0,001 |
| Palotás, 1952 | 0,1 |
| MSZ 4713:1955 | 0,1 |
| Palotás, 1961 | 0,15 |
| MSZ 4713-3:1977 | 0,063 |
| MSZ 18288-1:1983 | 0,063 vagy 0,125 |
| MSZ EN 12620:2003 | 0,125 |
| MSZ EN 13139:2003 | 0,125 |
| MSZ 4798-1:2004 | 0,063 |

Tehát *Abrams* és követői – korosztályunkat is beleértve – a betonadalékanyagok szemmegoszlását a görbe feletti $F_{lgd}$ területtel, illetve a vele összefüggő $m$ finomsági modulussal jellemezték. A módszer a gyakorlat számára kétségtelenül szemléletes és jól kezelhető, de hátránya, hogy a számítás eredménye nem független a $d_m$ kezdő szemnagyságtól. Pedig létezik ilyen szemmegoszlási jellemző

❖ is, mégpedig az abszcisszatengely kezdőértékétől független $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemnagyság alakjában. A logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) logaritmusa felírható, mint az $F_{lgd}$ terület és az abszcissza kezdőértékhez tartozó szemnagyság ($d_m$) logaritmusának összege:

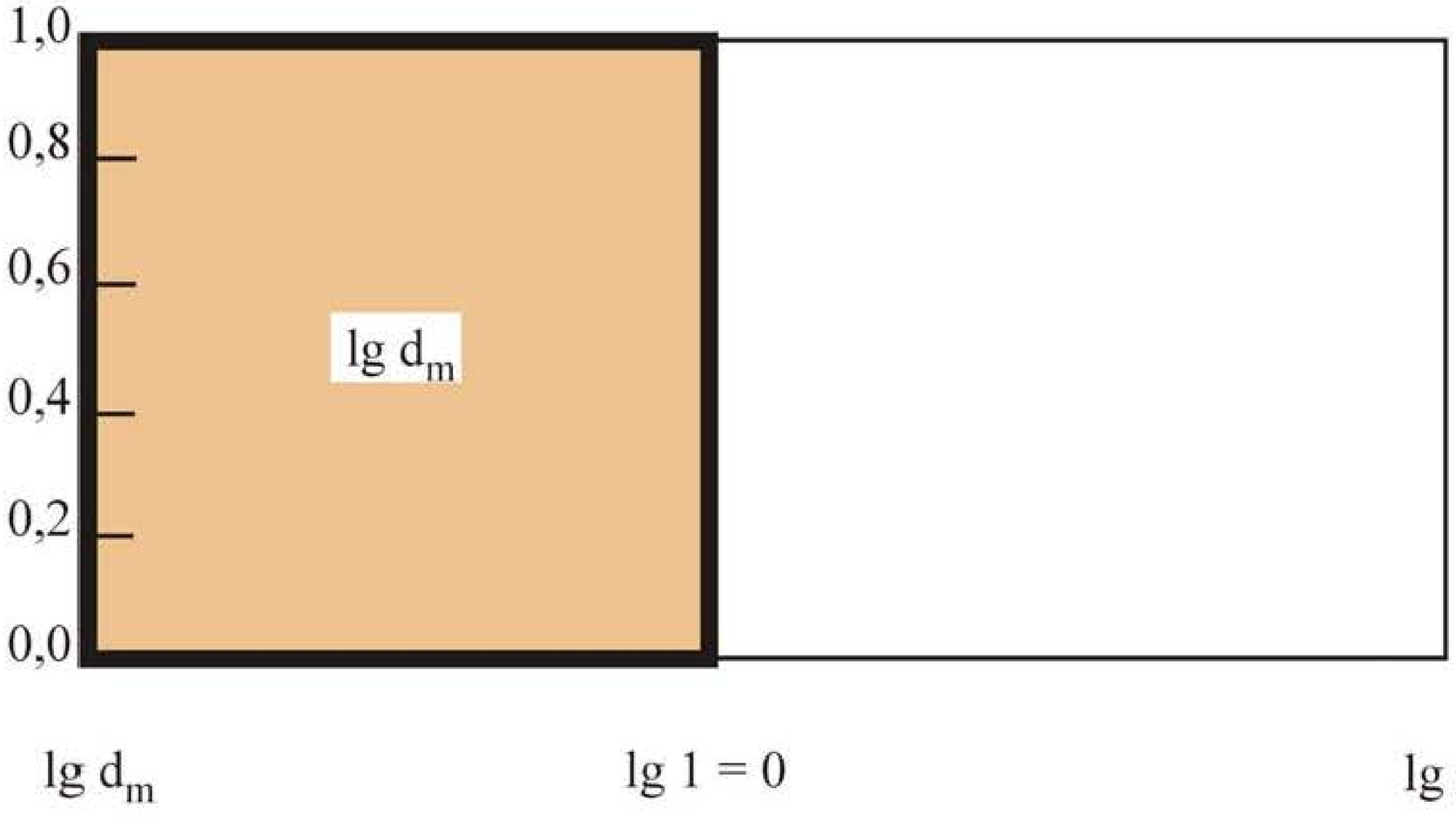
$$lg\ d_{átlag} = F_{lg\,d} + lg\ d_m$$

és ebből kiszámítható a logaritmikus átlagos szemnagyság értéke:

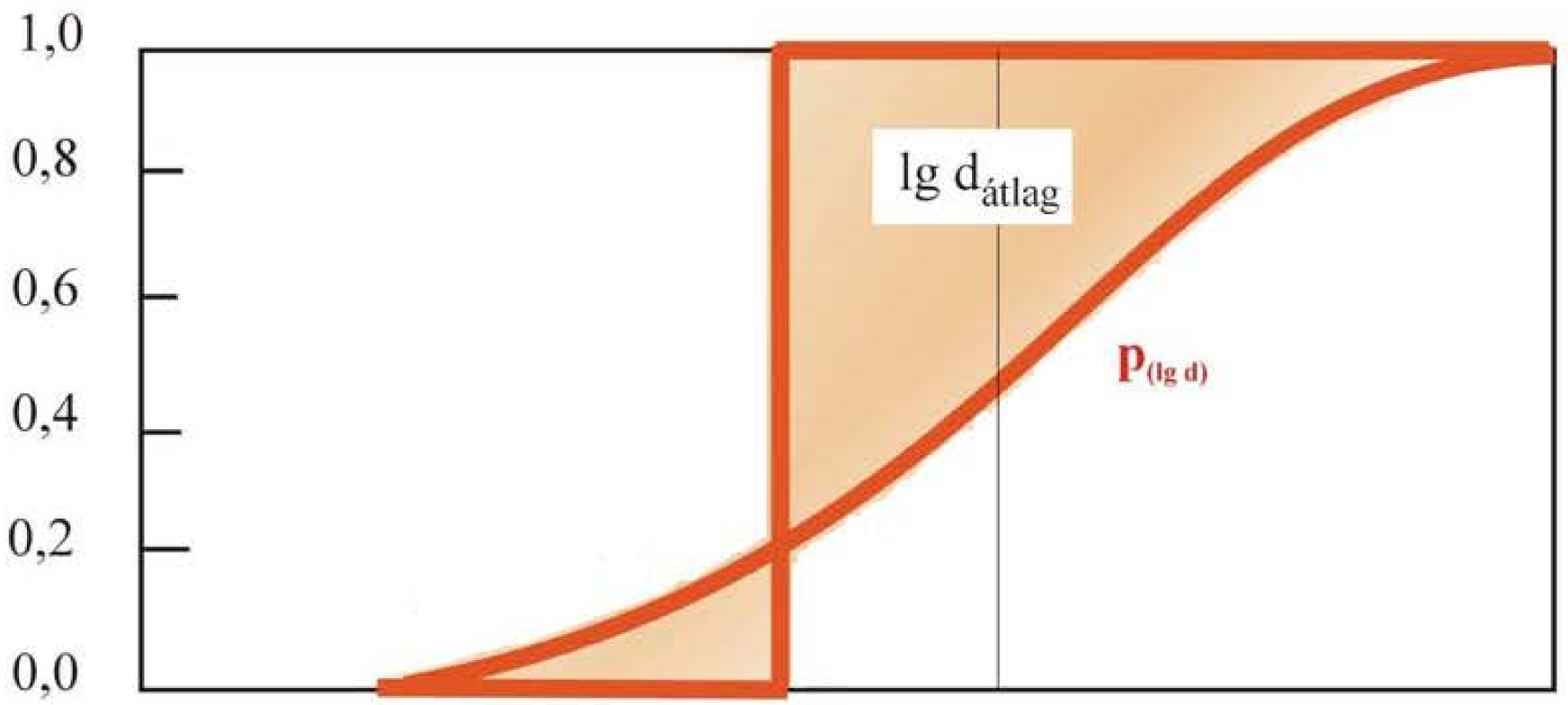
$$d_{átlag} = 10^{lg\ d_{átlag}}$$

Tekintettel arra, hogy $lgd_m$ negatív szám, grafikusan a $lgd_{átlag}$ terület (*4. ábra*) az $F_{lg}$ terület (*2. ábra*) és a $lgd_m$ terület (*3. ábra*) különbségeként jelenik meg. A *4. ábra* jól szemlélteti, hogy a logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) független az abszcisszatengely kezdőértékétől ($lgd_m$) illetve az ahhoz tartozó szemnagyságtól ($d_m$).

A logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) mértékegysége mm.




3. ábra. A lg$d_m$ terület




4. ábra. A lg$d_{átlag}$ terület

Felhasznált irodalom:

Badian, A.: Über die Beziehungen zwischen dem Abramsschen Feinheitsmodul, der Hummelschen F-Fläche und der Spindelschen Siebnummern. Beton und Eisen. Jg. 32. 1933. H. 19. p. 305-307.

Hummel, A.: Die Auswertung von Siebanalysen und der Abrams'sche Feinheitsmodul. Zement, 1930. H. 15. pp. 355-364.

Kausay Tibor: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle. XXV. évf. 1975. 4. szám. p. 155-164.

Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés. 2004. 1. szám. p. 3-11.

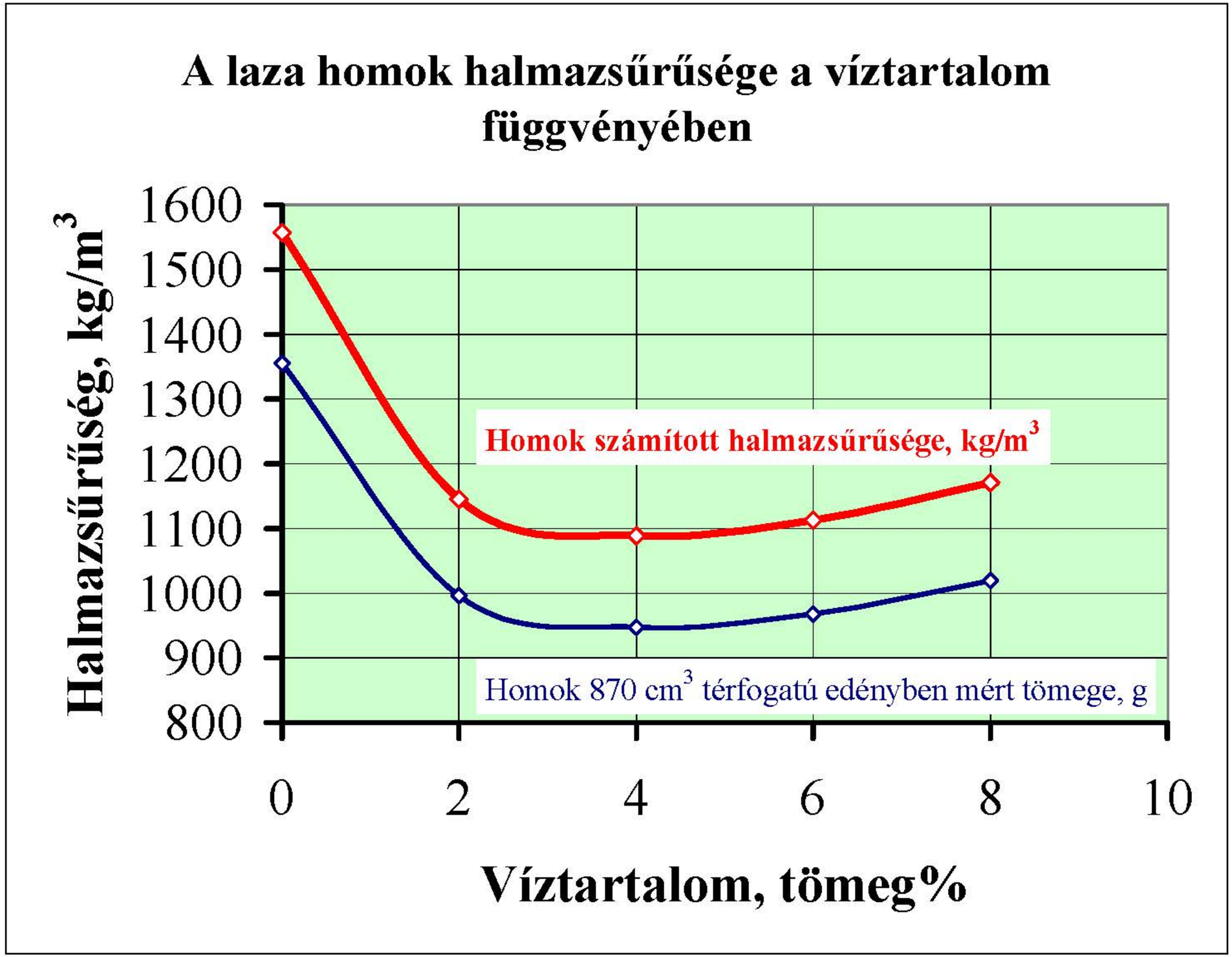
MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Megjelent a | BETON szakmai havilap | 2004. július-augusztus havi számának 14-15. oldalán |

# A laza homok halmazsűrűsége a víztartalom függvényében

| Homok víztartalma [tömeg%] | 870 $cm^3$ térfogatú edényben mért tömeg [g] | Halmaz-sűrűség [$kg/m^3$] |
|---|---|---|
| 0 | 1355 | 1557 |
| 2 | 996 | 1145 |
| 4 | 947 | 1089 |
| 6 | 968 | 1113 |
| 8 | 1019 | 1171 |



# Agyag- és iszaptartalom meghatározása térfogatos ülepítő vizsgálattal

**MSZ 18288-2:1984 szabvány 9. fejezet**

## Vizsgálati anyag

**A vizsgálati anyag 4 mm alatti homok. Az ennél nagyobb szemekről az agyag- és iszaptartalmat 24 órás áztatás után 4 mm-es szitán be kell mosni úgy, hogy a mosóvizet felfogjuk, 48 órán át ülepedni hagyjuk, a tiszta vizet leszívjuk, a zagyot annyi 4 mm alatti szemcséhez keverjük, amennyi a szemmegoszlás szerint vele tömegarányos.**

**Vizsgálati anyag mennyisége: 500 $cm^3$ mérésenként. Két párhuzamos mérést végzünk.**

## Vizsgálati eszköz

**Becsiszolt dugóval zárható 1000 $cm^3$-es üveg mérőhenger (menzúra).**

## Vizsgálat

**A mérőhengert az 500 $cm^3$-es jelig vizsgálati anyaggal, az 1000 $cm^3$-es jelig ivóvízzel töltjük fel.**

**Felrázási idők: A vizsgálat elején, majd attól számítva 20, 40, 60 perc. Az egyes felrázások időtartama: 1 perc. Az utolsó felrázástól számított 24 óra múlva olvassuk le az anyag leülepedett teljes térfogatát *(H)* és a felső részben elváló agyag- és iszapréteg térfogatát *(h)*.**

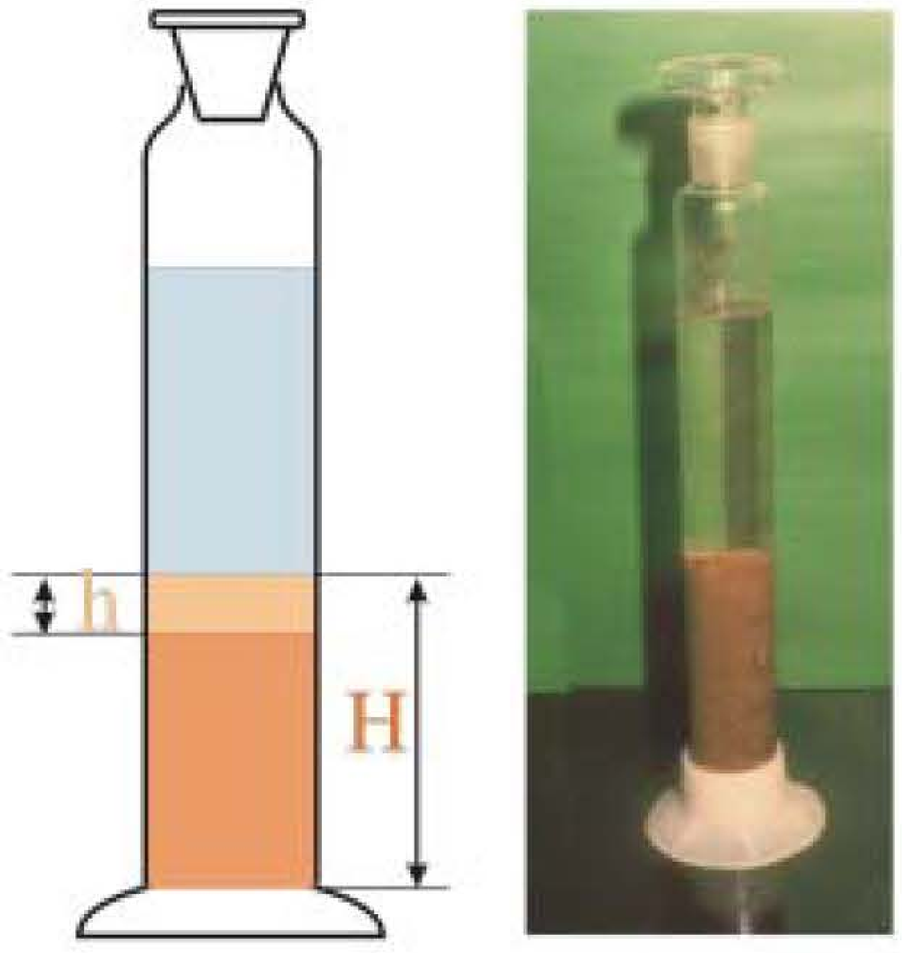
**Az agyag- és iszaptartalom: *AI = 100*h/H [térfogat%]***

**Minősítés az MSZ 18293 Homok, homokos kavics és kavics termék szabvány szerint**

| Minőségi osztály jele | Agyag- és iszaptartalom térfogat% | Alkalmazási terület, legfeljebb |
|---|---|---|
| P | $f \leq 3$ | Feszített vasbeton és C 30/37 nyomószilárdsági osztály feletti vasbeton |
| Q | $3 < f \leq 6$ | C 30/37 nyomószilárdsági osztályú és annál gyengébb vasbeton, cementhabarcs |
| R | $6 < f \leq 10$ | Beton, mészhabarcs |
| S | $10 < f \leq 20$ | Feltöltés, ágyazat |

**A mérőhengerben elkülönülő finom szemek ásványtanilag nem feltétlenül agyagásványokból állnak, hanem szemnagyságuk (illetve hosszú ülepedési idejük) folytán ülepednek a (gyorsabban ülepedő) durvább szemekre.**

**Az *Atterberg*-féle nevezéktan szerint az agyag 0,002 mm-nél kisebb, az iszap 0,02 - 0,002 mm közötti szemnagyságú üledékes, azon belül csoportosítva laza törmelékes kőzet.**






***Stokes* törvényéből levezethető (*Dr. Vendl Aladár*: Geológia. I. kötet. Tankönyvkiadó. Budapest, 1953.), hogy az *r* sugarú [cm], gömb alakú, 2,7 g/cm$^3$ anyagsűrűségű test, 20 °C hőmérsékletű vízben *v* sebességgel [cm/sec] esik:**

$$v \approx 37060 * r^2$$

**Ezzel az összefüggéssel *dr. Vendl Aladár*, a műegyetem egykori tanszékvezető, geológia professzora azt kapta, hogy a 0,002 mm, a 0,02 mm és a 0,2 mm szemnagyságú, 2,7 g/cm$^3$ anyagsűrűségű szemek esési (ülepedési) ideje 10 cm magasságon, 20 °C hőmérsékletű vízben, a következő:**

| A szem átmérője [mm] | Ülepedési sebesség [cm/sec] | Ülepedési idő 10 cm magasságon |
|---|---|---|
| 0,002 | 0,000367 | 455 perc (7 óra és 35 perc) |
| 0,02 | 0,0375 | 7 perc és 27 másodperc |
| 0,2 | 2,076 | 4,8 másodperc |

**A *h* magasságú agyag- és iszapréteg a *(H-h)* magasságú homokrétegnél lazábban helyezkedik el, de az idő előrehaladtával tömörödik. Ezért:**

- **nagyon fontos a leolvasási idő pontos betartása, mert például 48 órás korban leolvasva és kiszámítva az AI térfogat%-ot, az kisebb értéket mutathat, mint a 24 órás korban leolvasott, szabványos érték;**
- **nagyon fontos megjegyezni, hogy az AI százalék térfogat%-ot jelent. Ha a *h* magasságú agyag- és iszapréteg és a *(H-h)* magasságú homokréteg tömegét kiszárított állapotban megmérnénk és arányukat tömeg%-ban kiszámítanánk, akkor azt kapnánk, hogy a tömeg%-ban kifejezett érték csak mintegy fele a térfogat%-ban kifejezett értéknek.**

| | | |
|---|---|---|
| | **Homokos kavics, homok, kavics** | |

| | |
|---|---|
| Németül: | Sandkies, Sandiger Kies; Sand; Kies |
| Angolul: | Sanded gravel; Sand; Gravel |
| Franciául: | Gravier; Sable; Caillou |

A legelterjedtebben használt természetes eredetű, közönséges (normál) beton és habarcs adalékanyag ◆ a homok, kavics, homokos kavics, amely a víz (ritkán a szél, esetleg a gleccser) által szállított laza törmelékes kőzet, ezért általában törés nélkül, mosás és osztályozás után, ritkábban ezek nélkül is alkalmas beton és habarcs készítésére. A 4 mm alatti szemeket homoknak, a 4 mm felettieket kavicsnak nevezzük.

Az építési célú homokos kavicsot a partról sínen vagy hernyótalpon járó kotrókkal, a vízen markolós, vederláncos, hydropneumatikus úszókotrókkal, bányatavakból vagy folyókból termelik ki. A kikotort homokos kavicsot agyagrögtelenítik, majd vizesen, mosva osztályozzák, osztályozás után víztelenítik, a nagyobb kavics szemeket megtörik, majd a mosott, osztályozott anyagot (frakciókat) depóniákban tárolják. A depóniák alatt általában depónia-felszedő alagutak húzódnak, de a gépkocsira rakodás gumikerekű, forgó-felsővázas markolókkal is megoldott.

Az MSZ 18293:1979 *homok, homokos kavics és kavics termék szabvány* szerint a természetes, a kitermelés során nem módosított szemmegoszlású anyag neve *nyerstermék* (homok vagy homokos kavics). Ha a nyerstermék előírt méreten felüli szemeit leválasztják, és mossák, akkor a *természetes szemmegoszlású termék* (homok vagy homokos kavics) áll elő. Az *előírt szemmegoszlású termék* (homok, homokos kavics) legkisebb szemnagysága zérus, és szemmegoszlási görbéje az előírt határgörbék között helyezkedik el. A nyersterméből agyagrögtelenítéssel, osztályozással, mosással, töréssel előállított, meghatározott alsó és felső szemnagysághatárú termék az *osztályozott termék* (homok, kavics, gyöngykavics) nevet viseli, amelyet a gyakorlatban sokszor latin eredetű szóval, *frakció*nak hívnak. A *kavicsból tört termék* (homok, kavics, homokos kavics) legalább 90 tömeg% tört szemet tartalmaz, a *vegyes termék* (osztályozott homok, osztályozott kavics) a természetes aprózódású szemek mellett 10-90 tömeg% tört szemet is tartalmaz (MSZ 18293:1979). Az MSZ 4798:2004 szabvány szerint homok és kavics frakciókról, homokos kavics keverékekről beszélünk.

A hazai homokokat, kavicsokat, homokos kavicsokat túlnyomóan a nagyon ellenálló, kemény (Mohs-féle skálán 6,5-7,0) kvarc, kvarcit szemek alkotják, ezért Magyarországon a szilárdságukat, az időállóságukat, a szemalakjukat nem szokás vizsgálni. Az építési célú, természetes aprózódású homok, kavics, homokos kavics termékek minőségét az agyag-iszap tartalom, az agyagrögök mennyisége, a szerves szennyeződés, a szulfáttartalom, a kloridtartalom, a legkisebb és a legnagyobb szemnagyság, az osztályozás élessége, a szemmegoszlás ◆ határozza meg. A kavicsból tört termékek minőségét az aprítási technológia is befolyásolja, ezért ezek Los Angeles aprózódását, szulfátos kristályosítási veszteségét, szemalakját ◆ is meg kell vizsgálni. (MSZ 18293:1979 és MSZ 4798:2004)

A betontechnológiai követelményeket megszemenden figyelembe vevő MSZ 18293:1979 nemzeti termék szabvánnyal szemben az MSZ EN 12620:2003 európai szabvány kifejezetten *beton adalékanyag szabvány*, amelynek alkalmazási területe a homokos kavics, homok, kavics adalékanyagokra is kiterjed. A két szabvány szemléletbeli különbségét jól tükrözi, hogy míg a nemzeti szabványban a „beton" szót, addig az európai szabványban a „kavics termék" kifejezést hiába keresnénk. Bár voltaképpen az európai szabvány is termék szabvány, sőt harmonizált termék szabvány ◆, mégsem alkalmaz olyan egyértelmű, a termék mineműségére és minőségi osztályára

utaló, a felhasználók műszaki irányelvében is érvényesíthető jelölés rendszert, mint a nemzeti szabvány. Ezen a gondon az MSZ 4798:2004 szabvány valamelyest enyhít.

Az MSZ EN 12620:2003 európai szabvány a *durva kőanyaghalmaz* (grobe Gesteinskörnung, coarse aggregate), a *finom kőanyaghalmaz* (feine Gesteinskörnung, fine aggregate), az *osztályozott kőanyaghalmaz* (Korngruppe, aggregate size), a *kőanyag keverék* (Korngemisch, all-in aggregate), a *természetes szemmegoszlású kőanyaghalmaz* (natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung, natural graded aggregate), és a *kőliszt* (Füller = Gesteinsmehl, filler aggregate), valamint a *finomrész* (Feinanteil, fines) fogalmát ismeri.

A *durva kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága $d \geq 2$ mm, legnagyobb szemnagysága $D \geq 4$ mm (eszerint a 2/4 mm szemhalmazhatárú osztályozott homok durva kőanyaghalmaznak számít), a *finom kőanyaghalmaz* (amely törésből is származhat) legnagyobb szemnagysága $D \leq 4$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$. Az „osztályozott termék"-nek, „frakció"-nak megfelelő *osztályozott kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága $d > 0$ mm, és legkisebb és legnagyobb szemnagyságának hányadosa d/D. Az „előírt szemmegoszlású termék" neve *kőanyag keverék*, legnagyobb szemnagysága $D \leq 45$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$, és szemmegoszlási görbéje határértékek között kell, hogy elhelyezkedjék. A *természetes szemmegoszlású*, glaciális vagy folyami eredetű, de keveréssel is előállítható *kőanyaghalmaz* legnagyobb szemnagysága $D \leq 8$ mm, legkisebb szemnagysága $d = 0$. A *kőliszt* és a *finomrész* legnagyobb szemnagysága $D \leq 0{,}063$ mm. (MSZ EN 12620:2003)

A közönséges (normál) betonok adalékanyagaként használt kőanyaghalmazok minőségét a kőzettani összetétel, a szemmegoszlás ❖, a finomrész tartalom, a durva szemek mikro-Deval aprózódása, a szervesanyag és egyéb, a habarcs kötésidejét növelő és nyomószilárdságát csökkentő káros anyag tartalom; továbbá szükség esetén a durva szemek szemalakja ❖, kagylóhéj tartalma, Los Angeles és ütési aprózódása, csiszolódási, kopási és szöges gumiabroncs ellenállása, fagyállósága; valamint szükség esetén a testsűrűség ❖, a vízfelvétel ❖, a halmazsűrűség ❖, a térfogatállandóság, a hajlam az alkálifém-oxid - szilikát reakcióra ❖, a kloridtartalom, a szulfáttartalom, a homok-egyenérték, a metilénkék-oldat adszorpció, a magnézium-szulfátos kristályosítási veszteség, az olvasztósó-állóság határozza meg. (MSZ EN 12620:2003)

Az MSZ EN 13139:2003 európai, harmonizált *habarcs adalékanyag szabvány* felfogásában és felépítésében alig különbözik az MSZ EN 12620:2003 európai beton adalékanyag szabványtól. Tárgykörébe tartozik a 4 mm alatti, $d = 0$ legkisebb szemnagyságú („homok"), a 2/4 mm szemnagyságú („osztályozott homok"), a 0/8 mm szemnagyságú („homokos kavics"), és a 2/8 mm szemnagyságú („osztályozott homokos kavics") kőanyaghalmaz.

A habarcsok adalékanyagaként használt kőanyaghalmazok minőségét a kőzettani összetétel, a szemmegoszlás ❖, a finomrész tartalom, a testsűrűség, a vízfelvétel, a kloridtartalom, a szulfáttartalom, a szervesanyag és egyéb, a habarcs kötésidejét növelő és nyomószilárdságát csökkentő káros anyag tartalom; továbbá szükség esetén a durva szemek szemalakja ❖, kagylóhéj tartalma, fagyállósága, a hajlam az alkálifém-oxid - szilikát reakcióra ❖, a homok-egyenérték, a metilénkék-oldat adszorpció határozza meg. (MSZ EN 13139:2003)

Meg kell említeni, hogy az MSZ EN 12620:2003 és az MSZ EN 13139:2003 európai szabványokban a finom kőanyaghalmazok finomsági modulusát ❖ a 0,125 mm nagyságú szita kezdőértékkel számítják ki. Az európai szabványok a durva és egyéb kőanyaghalmazok finomsági modulusáról nem tesznek említést.

Felhasznált irodalom:

MSZ 18293:1979 Homok, homokos kavics és kavics (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)
MSZ 4798:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
MSZ EN 13139:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) habarcshoz

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a

BETON

szakmai havilap

2003. december havi számának 16-17. oldalán

**Az MSZ EN 4798-1:2004 „Beton. 1. rész. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon” című szabvány 5.1.3. „Adalékanyagok” című szakasza javaslatunk alapján ajánlást tesz a homok, kavics, homokos kavics termékek szemnagyságára és a zúzottkövek kőzetfizikai csoportjára, valamint szemalakjára.**

**A homok, kavics, homokos kavics termékek szemnagyságának és a zúzottkövek kőzetfizikai csoportjának újrafogalmazása, a szemalak követelményének szabályozása az európai szabványok bevezetése folytán vált szükségessé.**

**Ennek az oldalnak az a célja, hogy felhívja a figyelmet a betonadalékanyagokra vonatkozó, az európai szabványokkal kapcsolatos változásokra, és ösztönözze a kedves Olvasót az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a kapcsolódó, MSZ EN jelzetű európai szabványok beszerzésére, tanulmányozására és alkalmazására.**

*Magyarországon a betonadalékanyagként alkalmazott **homok, kavics, homokos kavics termékek** szemnagysága összhangban az MSZ EN 12620:2003 szabvánnyal az 1. táblázat szerinti legyen. Az 1. táblázat nem helyettesíti az MSZ EN 12620:2003 szabvány előírásait. Az 1. táblázatban a $G_F85$, $G_F85/20$, $G_C85/20$, $G_C90/15$, $G_C80/15$, $G_C85/15$ jel a betonadalékanyag termékek MSZ EN 12620:2003 szabvány szerinti szemnagysági osztály jele (F: fine = finom, C: coarse = durva, pl. 85/20 = a D ellenőrző szitán áthullott megkövetelt legkisebb, azaz 85 tömegszázalék per a d ellenőrző szitán áthullott megengedett legnagyobb, azaz 20 tömegszázalék).*

*A szemmegoszlás meghatározásához alkalmazható, négyzetes lyukú sziták nyílását az MSZ EN 933-2:1998 szabvány tág keretek között írja elő. A Magyarországon alkalmazott módosított Tyler-féle szitasorozat, az ún. „duplázódó” sziták nyílásainak mérete: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,25 mm; 0,50 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm; 8 mm; 16 mm; 32 mm; 63 mm, és az ún. „felező” sziták nyílásainak mérete: 12 mm; 20 mm; 24 mm; 48 mm.*

*Ha a legnagyobb szemnagyság vagy valamely szabványos vizsgáló illetve ellenőrző szita mérete 6,3 mm (6 mm), 11,2 mm (12 mm), 12,5 mm (12 mm), 17,5 mm (20 mm), 22,4 mm (24 mm), 25 mm (24 mm), 31,4 mm (32 mm), 31,5 mm (32 mm), 44,1 mm (44 mm), 44,8 mm (44 mm), 45 mm (44 mm), akkor Magyarországon ezek helyett szabad a zárójelben feltüntetett lyukbőségű vizsgáló szitákat használni. A vizsgálati jegyzőkönyvben a fentiekhez hasonlóan kell a ténylegesen alkalmazott méretet feltüntetni, pl. így: 31,5 mm (32 mm). A 31,4 mm-es és 31,5 mm-es szemnagyságok helyett a finomsági modulus számításánál is szabad a 32 mm-es értéket figyelembe venni.*

***1. táblázat: Homok, kavics, homokos kavics betonadalékanyag termékek szemnagysága***

| *Megnevezés és osztály* | *Szemnagysághatár* | | | *Ellenőrző szita* | | *Példa mm/mm* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Legkisebb (d)* | *Legnagyobb (D)* | *Feltétel* | *Szitanyílás mm* | *Áthullott anyag tömegszázaléka* | |
| | *szemnagyság, mm* | | | | | |
| *Homok* $G_F85$ | *d = 0* | *D ≤ 4* | - | *0,063*<br>*D/4*<br>*D/2*<br>*D*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0-10 [a]; 0-5 [b]; 0-3 [c]*<br>*20 – 60*<br>*50 – 90*<br>*85 – 99*<br>*95 – 100*<br>*100* | *0/1 [a]; 0/2 [b]; 0/4 [c]* |
| *Homok frakció* $G_F85/20$ | *d > 0* | *D = 4* | - | *0,063*<br>*d/2*<br>*d*<br>*4*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0 - 3*<br>*0 – 10*<br>*0 – 20*<br>*85 – 99*<br>*95 – 100*<br>*100* | *1/4; 2/4* |
| *Homokos kavics frakció* $G_C85/20$ | *d = 2* | *4 < D ≤11,2 (12) [d]* | *Szűk frakció D/d ≤ 6* | *0,063*<br>*d/2*<br>*d*<br>*D/1,4*<br>*D*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0 - 3*<br>*0 – 5*<br>*0 – 20*<br>*25 – 70*<br>*85 – 99*<br>*98 – 100*<br>*100* | *2/8; 2/12* |

*Az 1. táblázat folytatása:*

| *Megnevezés és osztály* | *Szemnagysághatár* | | *Feltétel* | *Ellenőrző szita* | | *Példa mm/mm* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Legkisebb (d)* | *Legnagyobb (D)* | | *Szitanyílás mm* | *Áthullott anyag tömegszázaléka* | |
| | *szemnagyság, mm* | | | | | |
| *Homokos kavics frakció* $G_C$90/15 | *d = 2* | *11,2 (12)* [d] *< D ≤ 20* | *Nyújtott frakció 6 < D/d ≤ 10* | *0,063*<br>*d/2*<br>*d*<br>*D/2*<br>*D*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0 – 3*<br>*0 – 5*<br>*0 – 15*<br>*25 – 70*<br>*90 – 99*<br>*98 – 100*<br>*100* | *2/16; 2/20* |
| *Kavics frakció* $G_C$80/15 | *d ≥ 4* | *D ≥ 8* | *Szűk frakció D/d ≤ 2* | *0,063*<br>*d/2*<br>*d*<br>*D/1,4*<br>*D*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0 – 3*<br>*0 – 5*<br>*0 – 15*<br>*25 – 70*<br>*80 – 99*<br>*98 – 100*<br>*100* | *4/8; 8/16; 16/32* |
| *Kavics frakció* $G_C$85/15 | *d ≥ 4* | *D > 8* | *Nyújtott frakció D/d > 2* | *0,063*<br>*d/2*<br>*d*<br>*D/2*<br>*D*<br>*1,4·D*<br>*2·D* | *0 – 3*<br>*0 – 5*<br>*0 – 15*<br>*25 – 70*<br>*85 – 99*<br>*98 – 100*<br>*100* | *4/16; 8/24; 8/32* |
| *Homokos kavics (keverék)* | *d = 0* | *D ≤ 63* | *NAD M1. – NAD M8. ábra szerint* | | | |

[a, b, c] *A 0/1; 0/2; 0/4 mm szemnagyságú homok 0,063 mm nyílású szitán áthulló megfelelő megengedett tömegszázaléka.*

[d] *Magyarországon szabad a zárójelben feltüntetett nyílású szitát használni.*

***Zúzottkő adalékanyag esetén*** *a szemmegoszláson és a tisztaságon kívül meg kell határozni:*

- *a Los Angeles aprózódást (MSZ EN 1097-2:2000);*
- *a mikro-Deval aprózódást (MSZ EN 1097-1:1998);*
- *a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódást (MSZ EN 1367-2:1999);*
- *a szemalakot (durva szemek esetén az MSZ EN 933-3:1998, illetve az MSZ EN 933-4:2000 szerinti módszerrel, és ha szükséges, finom szemek esetén az MSZ EN 933-6:2003 szerinti tölcséres méréssel);*
- *ha szükséges, megállapodás szerint az egyéb mechanikai, időállósági, hidrotechnikai, kémiai, szikramentességi stb. tulajdonságokat is.*

*A betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkövet vagy zúzottkő terméket a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat eredménye alapján a 2. táblázat szerint kőzetfizikai csoportba lehet sorolni. A 2. táblázat kőzetfizikai csoport beosztása igazodik az MSZ EN 12620:2003 szabvány követelmény rendszeréhez, és a lehetőségeken belül követi az MSZ 18291:1978 szabvány és az ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás megszokott kőzetfizikai csoport beosztását. Kivétel ez alól a Kf-0 kőzetfizikai csoport, amely a Magyarországon az eddig alkalmazott kőzetfizikai csoportok követelményeinél szigorúbb követelményeket támaszt. Az eddigi nemzeti és az új európai előírások követelményeinek összhangja tette szükségessé az eddigi nemzeti „C” és „D” kőzetfizikai csoportok ketté bontását Kf-C1 és Kf-C2, ill. Kf-D1 és Kf-D2 csoportokra. A zúzottkő vagy zúzottkő termék akkor sorolható be valamely kőzetfizikai csoportba, ha a Los Angeles, a mikro-Deval és a magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálatot ugyanazon szemnagyságú laboratóriumi mintából (frakcióból) előállított vizsgálati mintákon végezték el, és a vizsgált anyag a kőzetfizikai csoport minden követelményét egyidejűleg kielégítette.*

*Az MSZ EN 1097-1, MSZ EN 1097-2 és MSZ EN 1367-2 európai szabvány 10-14 mm szemnagysághatárú vizsgálati minták referencia-vizsgálatát írja elő, de az MSZ EN 1097-2 és MSZ EN 1367-2 szabvány bizonyos alternatív-vizsgálati szemnagysághatárok alkalmazását is megengedi. Ha a vizsgálati anyag, illetve a vizsgálandó termék (laboratóriumi minta) szemnagysága kívül esik az MSZ*

*EN 1097-2:2000, az MSZ EN 1097-1:1998, az MSZ EN 1367-2:1999 szabványokban szereplő 10-14 mm-es vizsgálati minta szemnagysághatárokon, akkor a 10-14 mm szemnagyságú vizsgálati mintát a laboratóriumi mintából töréssel és/vagy osztályozással kell előállítani, ha a laboratóriumi minta szemnagysága lehetővé teszi. Ha ez nem lehetséges, vagy a szemek struktúrájának megbontása miatt nem célszerű (tehát magát a terméket kívánják vizsgálni), akkor megegyezés szerint szabad a vizsgálati anyagból a Los Angeles aprózódási vizsgálat MSZ 18287-1:1990 szerinti, a mikro-Deval vizsgálat MSZ 18287-6:1984 szerinti, a szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat MSZ 18289-3:1985 szerinti vizsgálati szemnagyságú és tömegű vizsgálati mintáját előállítani (laboratóriumi törés nélkül, osztályozással), és szabad ezeken a vizsgálati mintákon – alternatív-vizsgálatként – a Los Angeles vizsgálatot az MSZ 18287-1:1990 szerinti, a mikro-Deval vizsgálatot az MSZ 18287-6:1984 szerinti, a szulfátos kristályosítási vizsgálatot az MSZ 18289-3:1985 szerinti vizsgálati feltételek mellett elvégezni.*

*A referencia-vizsgálati eredményekből és az alternatív-vizsgálati eredményekből képezett kőzetfizikai csoportok nem feltétlenül esnek egybe, és a vizsgálat eredményét illetve a kőzetfizikai csoportba sorolást a vizsgálati minta szemnagysága is befolyásolhatja. Ezért a kőzetfizikai csoport jelében minden esetben fel kell tüntetni a laboratóriumi minta (frakció) szemnagysághatárait (d/D) és a referencia-vizsgálat (r), vagy az alternatív-vizsgálat (a) betűjelét. (pl. 12/20 mm névleges szemnagysághatárú termék alternatív-vizsgálata esetén pl. Kf-$A^{12/20-a}$). Ha alternatív-vizsgálatot végeztek, akkor az alternatív-vizsgálat jelében meg kell adni a vizsgálati minta szemnagysághatárait ($d_1$-$d_2$) (pl. 12-20 mm szemnagyságú vizsgálati minta Los Angeles aprózódása esetén $a_{LA}^{12-20}$). Minden esetben meg kell adni a vizsgálati szabvány számát is, hivatkozással arra, hogy használatát e szabvány megengedi.*

*Az MSZ EN 12620:2003 szabvány 5. fejezete az adalékanyagok alkalmazása – fizikai tulajdonságok szerinti – feltételeinek szabályozását nemzeti hatáskörbe utalja.*

*Magyarországon*

- *a Kf-D2 kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C8/10*

*nyomószilárdsági osztályú;*

- *a Kf-D1 kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C12/15 nyomószilárdsági osztályú;*
- *a Kf-C2 kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C16/20 nyomószilárdsági osztályú;*
- *a Kf-C1 kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C20/25 nyomószilárdsági osztályú;*
- *a Kf-B kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C25/30 nyomószilárdsági osztályú;*
- *a Kf-A kőzetfizikai csoportú zúzottkövet legfeljebb C50/60 nyomószilárdsági osztályú beton készítéséhez szabad adalékanyagként felhasználni;*
- *ha nagyszilárdságú beton (szilárdsági jele ≥ C55/67) készül zúzottkő adalékanyagból, akkor a zúzottkő kőzetfizikai csoportja Kf-0 legyen. (Lásd a 2. táblázatot).*

*A zúzottkő MSZ EN 933-4:2000 szerint, a hosszúság és vastagság tengelyaránya alapján (pl. szemalak tolómérővel) meghatározott szemalaktényezője*

- *a C8/10 – C12/16 nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{55}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 55 tömegszázalék);*
- *a C16/20 – C20/25 nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{40}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 40 tömegszázalék);*
- *a C25/30 – C50/60 nyomószilárdsági osztályokban legfeljebb $SI_{20}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 20 tömegszázalék);*
- *a nagyszilárdságú betonok (szilárdsági jele ≥ C55/67) esetén legfeljebb $SI_{15}$ (a lemezes szemek mennyisége legfeljebb 15 tömegszázalék) legyen.*

*(SI: shape index = szemalaktényező.)*

## 2. táblázat: A zúzottkő betonadalékanyagok kőzetfizikai csoportjai

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálati minta szemnagysága mm | Kőzetfizikai csoportok **referencia-vizsgálatok** esetén | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $Kf\text{-}0^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}A^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}B^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}C^{d/D\text{-}r}$ | | $Kf\text{-}D^{d/D\text{-}r}$ | |
| | | | | | $Kf\text{-}C1^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}C2^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}D1^{d/D\text{-}r}$ | $Kf\text{-}D2^{d/D\text{-}r}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2 | 10-14 | $LA_{15}$ ≤ 15 | 15 < $LA_{20}$ ≤ 20 | 20 < $LA_{25}$ ≤ 25 | 25 < $LA_{30}$ ≤ 30 | 30 < $LA_{35}$ ≤ 35 | 35 < $LA_{40}$ ≤ 40 | 40 < $LA_{45}$ ≤ 45 |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1 | 10-14 | $M_{DE}10$ ≤ 10 | 10 < $M_{DE}15$ ≤ 15 | 15 < $M_{DE}20$ ≤ 20 | 20 < $M_{DE}25$ ≤ 25 | 20 < $M_{DE}25$ ≤ 25 | 25 < $M_{DE}30$ ≤ 30 | 25 < $M_{DE}30$ ≤ 30 |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2 | 10-14 | $MS_5$ ≤ 5 | 5 < $MS_{10}$ ≤ 10 | 10 < $MS_{15}$ ≤ 15 | 15 < $MS_{18}$ ≤ 18 | 18 < $MS_{21}$ ≤ 21 | 21 < $MS_{25}$ ≤ 25 | 25 < $MS_{30}$ ≤ 30 |
| A zúzottkőbeton legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez a zúzottkövet fel szabad használni | | Nincs korlátozva | C50/60 | C25/30 | C20/25 | C16/20 | C12/15 | C8/10 |

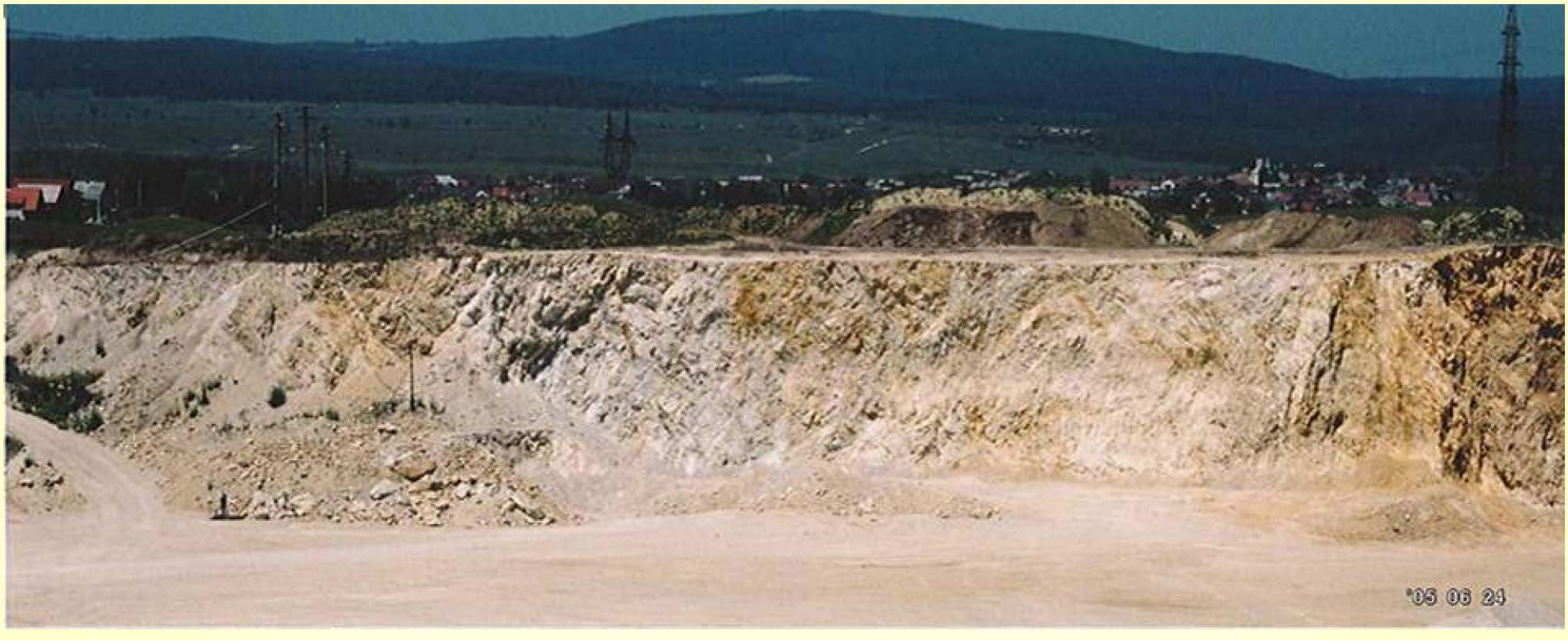
A 2. táblázat folytatása:

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálható szemnagyság tartománya mm | Kőzetfizikai csoportok **alternatív-vizsgálatok** esetén | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $Kf\text{-}0^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}A^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}B^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}C^{d/D\text{-}a}$ | | $Kf\text{-}D^{d/D\text{-}a}$ | |
| | | | | | $Kf\text{-}C1^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}C2^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}D1^{d/D\text{-}a}$ | $Kf\text{-}D2^{d/D\text{-}a}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ 18287-1 | 3-80 | $a_{LA15}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{LA20}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 20 | 20 < $a_{LA25}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{LA30}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 30 | 30 < $a_{LA35}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 35 | 35 < $a_{LA40}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 40 | 40 < $a_{LA45}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 45 |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ 18287-6 | 3-20 | $a_{MD10}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 10 | 10 < $a_{MD15}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{MD20}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 20 | 20 < $a_{MD25}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 25 | 20 < $a_{MD25}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{MD30}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 30 | 25 < $a_{MD30}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 30 |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ 18289-3 | 2-80 | $a_{Mg5}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 5 | 5 < $a_{Mg10}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 10 | 10 < $a_{Mg15}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 15 | 15 < $a_{Mg18}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 18 | 18 < $a_{Mg21}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 21 | 21 < $a_{Mg25}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 25 | 25 < $a_{Mg30}{}^{d_1\text{-}d_2}$ ≤ 30 |
| A zúzottkőbeton legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez a zúzottkövet fel szabad használni | | Nincs korlátozva | C50/60 | C25/30 | C20/25 | C16/20 | C12/15 | C8/10 |

# *Meghívást kaptam a KÖTÉS Kft. zúzottkövet termelő Veszprém-kádártai dolomit kőbányájába,*

*ahol a kedves Házigazdák jóvoltából végignézhettem egy mintaszerűen végrehajtott kőjövesztést (bányafal robbantást).*





'05 06 24

'05 06 24

'05 06 24

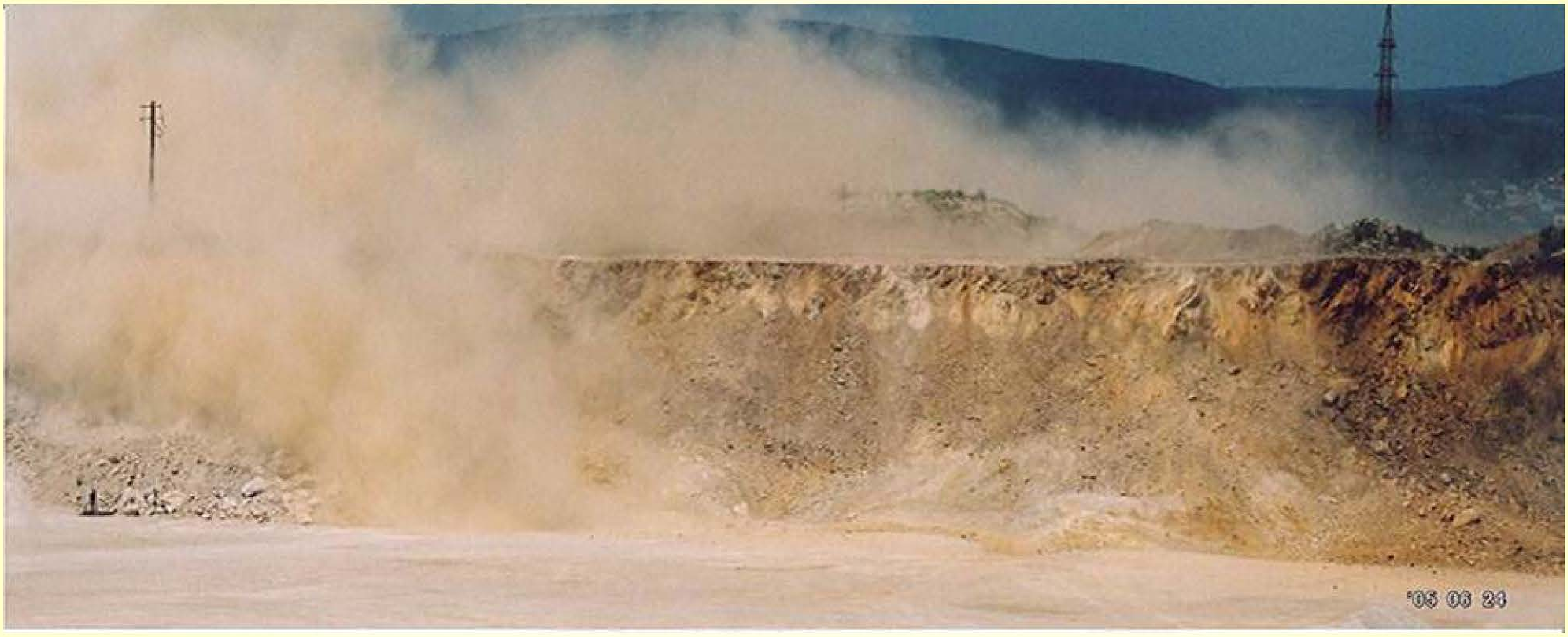
'05 06 24

'05 06 24

'05 06 24

'05 06 24

'05 06 24

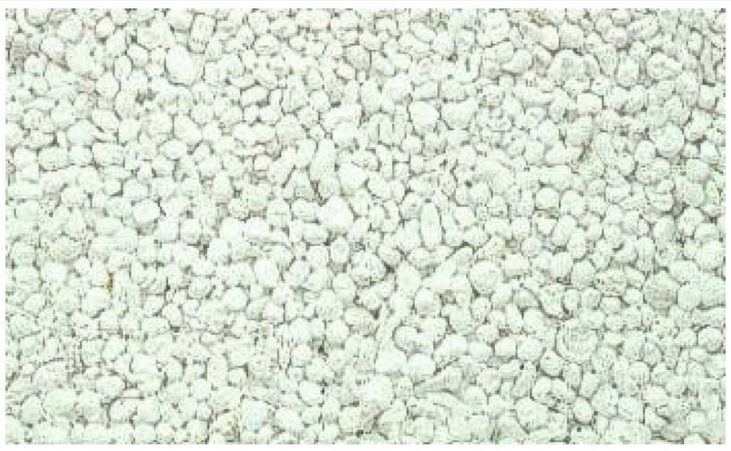

'05 06 24

# A viszontlátásra…

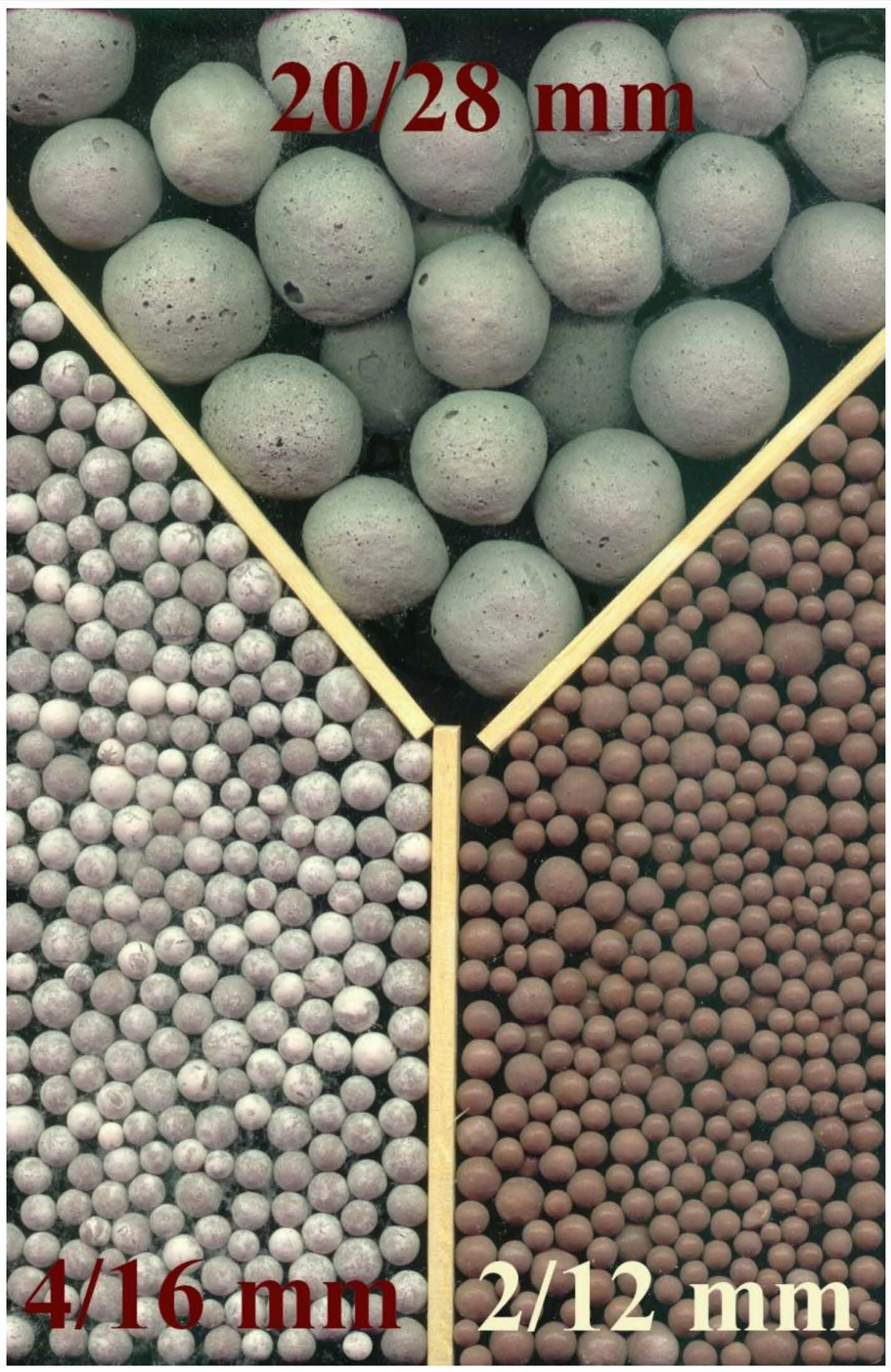
# Könnyű adalékanyag, könnyű kőanyaghalmaz

| | |
|---|---|
| Németül: | Leichtzuschlag |
| Angolul: | Lightweight aggregate (LWA) |
| Franciául: | Granulats légers |

Duzz. agyagkavics, szemnagys.: 6/10 mm



Duzzasztott perlit, szemnagyság: 0/2 mm




Duzzasztott üvegkavics

A pórus ❖, a légbuborék ❖, a sejt, a hézag, az üreg a szilárd testben ❖ vagy a szilárd testek halmazában lévő, A könnyű adalékanyagnak többféle meghatározása lehetséges. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint a legalább 800 kg/m$^3$ testsűrűségű, folyamatos szemeloszlású beton könnyű adalékanyaga ásványi eredetű, szemeinek testsűrűsége kiszárított állapotban kisebb, mint 2000 kg/m$^3$, halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban kisebb, mint 1200 kg/m$^3$.

A betonok és habarcsok könnyű adalékanyagaival (kőanyaghalmazaival) az MSZ EN 13055-1:2003 szabvány foglalkozik. E szabvány szerint a könnyű adalékanyag ásványi eredetű, halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban 30-1200 kg/m$^3$, anyagát tekintve természetes kőanyaghalmaz (németül: natürliche Gesteinskörnung), vagy természetes nyersanyagból, ipari melléktermékből, bontott építőanyag törmelékéből előállított szemhalmaz (kőanyaghalmaz). Jellemzői a halmazsűrűség, a szemek testsűrűsége, a szemalak, a szemeloszlás, a vízfelvétel, a szemek önszilárdsága, a térfogatállandóság, a klorid-, szulfát-, kéntartalom, az izzítási veszteség.

Az európai felfogás szerint tehát nem tartozik a könnyű adalékanyag fogalomkörébe a növényi eredetű adalékanyag, az egyszemcsés, nagy-hézagtérfogatú könnyűbeton ❖ kavics vagy zúzottkő adalékanyaga, a sejtesített könnyűbetonok ❖ adalékanyaga. Ez utóbbiak közül azokat, amelyek a könnyűbeton-gyártás során kémiai átalakuláson mennek át (például a gázbeton vagy mikroporit gyártási homok vagy pernye ❖), egyébként is helyesebb nyersanyagnak nevezni.

A következőkben röviden a jelentősebb beton és habarcs könnyű adalékanyagokat tárgyaljuk, beleértve a cellulóz tartalmú, növényi, rostos anyagokat is, de nem tekintve adalékanyagnak az ásványi, fém, műanyag eredetű, és egyéb szálakat ❖.

*Tufa*, azaz *vulkáni tufa*.. (Tofus latin szó, likacsos követ jelent.). A tufák magmás (eruptív) kőzetek csoportjába tartozó vulkáni törmelékes kőzetek, amelyek a vulkánokból a levegőbe röpített és ott megszilárdult lávarészekből álltak össze. Nevükben jelzőként a kiömlési (effuzív) kőzet nevét viselik (például riolittufa, dácittufa, andezittufa, bazalttufa). Magyarországon is előfordulnak (például a fenti sorrendben Bodrogkeresztúr, Tar, Szokolya, Egyházaskesző), de zúzott beton adalékanyagként csak a bodrogkeresztúri kőbányában termelik. Egyébként inkább falazókőnek vagy talajjavításra használják. Finomszemű vagy finomra őrölt változata - ha hidraulikus tulajdonságú kovasavat tartalmaz - a *trassz* (vagy trasz; Trass holland szó, ragasztóanyagot jelent), amely a portlandcementklinker mellett a trassz-portlandcementek fő alkotórésze (például CEM II/A-P 42,5). [Vendl Aladár: Geológia. Tankönyvkiadó, 1953.] (Turisták figyelmébe: http://www.fsz.bme.hu/mtsz/utleiras/kaptar.htm)

*Duzzasztott agyagkavics.* (Hívják keramzitnak is, ami orosz elnevezés; németül: Blähton). A duzzasztott agyagkavicsot duzzadóképes, finom eloszlásban szerves anyagot tartalmazó, leginkább jura-kori agyagok felhasználásával gyártják. Az agyagot finomra őrlik, granulálják, majd forgódobos kemencében 1200 °C feletti hőmérsékleten kiégetik. Az égetés során az agyag szerves anyag tartalma elég, a szemek megduzzadnak, felületüket megolvadt és szinterezett burok képezi. A gyártási folyamat végén a terméket osztályozzák, és általában 0/4, 4/8, 8/16 mm szemnagyságban forgalmazzák. A duzzasztott agyagkavicsból könnyűbeton falazóelemek, födémelemek, falazóhabarcsok, feltöltések készíthetők. Duzzasztott agyagkavicsot Magyarországon nem gyártanak, de import anyag (például Liapor) felhasználásával könnyűbeton termékek előállítása folyik.

*Duzzasztott perlit.* (Németül: expandierter Perlit; a Perle német szó, gyöngyöt jelent, de latin eredetű szónak tartják). A perlit a riolit (kiömlési, azaz effuzív kőzet) üveges módosulata. Összetétele túlnyomórészt savanyú, és kötött vizet tartalmaz. Az egyébként nagy-szilárdságú, tömött kőanyag, őrleménye hirtelen nagy hőmérsékletre hevítve megduzzad, és belőle kis-testsűrűségű, cella szerkezetű gömbök keletkeznek. Magyarország jelentős perlitkészlettel rendelkezik a Tokaj hegységben, és kisebb mennyiségben a Mátrában. A perlitet jelenleg, 1957 óta, Pálházán bányásszák. A perlitet megtörik, megszárítják, több fokozatban osztályozzák és körfolyamatban 1,6 mm alá őrlik. A nyers perlitőrleményt az országban több helyen is duzzasztják, a duzzasztási hőmérséklet általában 950-1100 °C. A duzzasztott szemek legnagyobb szemnagysága 5 mm, általában 0/0,5, 0/1, 0/2, 1/5 mm szemnagyságra osztályozzák. Felhasználják hőszigetelő perlitbetonok (ha kötőanyaga cement), perlithabarcsok (ha kötőanyaga mészpép, vagy cement és mészpép), ipari szűrők készítésére, továbbá mezőgazdasági, környezetvédelmi célra. [A magyar perlit 40 éve. SZTE-ÉTE konferencia kiadvány. 1998.]

*Zúzott tégla.* (Németül: rezyklierter Ziegelsplitt). Tégla anyagú építmények bontási törmelékéből ❖, töréssel, osztályozással lehet legfeljebb LC 16/18 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton (MSZ EN 206-1:2002) készítésére alkalmas zúzott tégla adalékanyagot előállítani. A zúzott tégla előállítására szánt építmény faláról a vakolatot a fal bontása előtt el kell(ene) távolítani. Törekedni kell arra, hogy a zúzott tégla habarcs szennyeződése legfeljebb 15 tömeg% legyen. A zúzott téglát 0/4, 4/8, 8/16, 16/24 mm szemnagyságú adalékanyag frakciókra osztályozva lehet falazóelemek gyártására használni.

*Kohóhabsalak.* (Németül: Hüttenbims, Hochofenschaumschlacke). A kohóhabsalakot a nyersvas gyártási nagyolvasztó olvadt salakjának habosításával állítják elő. A nagyolvasztó salak lényegében savas, vagy bázikus jellegű szilikátolvadék. Az 1000 °C feletti kohósalakba habosító tálcán 4-5 atü nyomással vizet nyomnak, amely víz a salakkal érintkezve gőzzé válik, és ezáltal a salakot habosítja. A habosított kohósalakot lehűtik, 30 mm legnagyobb szemnagyság alá aprítják és osztályozzák. A kohóhabsalak halmazsűrűsége 700-1150 kg/m$^3$. Hőszigetelő tulajdonságú❖ könnyűbeton falazat, födémbéléstest készítésére, valamint vízszűrésre használható.

*Granulált kohósalak.* (Németül: granulierte Hochofenschlacke). Ugyancsak a nagyolvasztó salakjából állítják elő. A vízárammal hűtött, lejtős csatornába juttatott olvadt salakot 4-5 atü nyomású vízzel verőlapátkerékre sodorják, ahol miközben üvegesen megdermed, 0-10 mm-es szemekre aprózódik. A granulált kohósalak halmazsűrűsége 1000-1300 kg/m$^3$. A granulált kohósalak könnyű adalékanyag, de ennél jelentősebb, hogy őrleménye gyengén hidraulikus tulajdonságú, amely ezért a portlandcementklinker mellett a kohósalak-portlandcementek fő alkotórésze (például CEM II/B-S 32,5).

*Pernyekavics.* (Németül: granulierter Aschenbims). Hőerőműveknél keletkező pernye (porszénhamu; németül Flugasche) granulálásával, majd a granulátum 1200 °C körüli hőmérsékleten való kiégetéssel állítják elő. A kiégett termék gömb alakú, nagy szilárdságú. Hazánkban nem gyártják.

*Kazánsalak,* azaz *szénsalak.* (Németül: Kohlenschlacke). Könnyű adalékanyagként elsősorban a vörös kazánsalakok használhatók. Általában a kazánsalak-hányókból termelik ki az üveges szerkezetű, nem mállékony anyagot, amelyet osztályozás után például könnyűbeton falazóelemek gyártására, vagy födémek feltöltésére használnak.

*Agloporit.* (Németül: Sinterbims). Az agloporitot széntartalmú hulladékanyagok (pernye, kazánsalak) zsugorodásig való kiégetésével gyártják. Az égetés után lehűtött anyagot aprítják és osztályozzák. Hazánkban nem gyártják.

*Duzzasztott üvegkavics* (nevezik habkavicsnak, habosított, ill. duzzasztott üveg-granulátumnak is; németül: granuliertes Schaumglas). Új termék, amelynek hazánkban kísérleti gyártása folyik. A hulladéküveget megőrlik, granulálják, felületképző anyaggal vonják be, majd 800-1000 °C hőmérsékleten forgócsöves kemencében kiégetik. Szemnagysága általában 1-30 mm. Az eddigi kutatási eredmények szerint alkáli-reakcióra nem érzékeny, káros összetevőket nem tartalmaz. Tatabányán a GEOFIL Kft. gyártja. [Nemes Rita - Gyömbér Csaba: Könnyűbeton adalékanyagok összehasonlító vizsgálata. TDK dolgozat. Konzulens: dr. Józsa Zsuzsanna. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2001. október]

*Polisztirol gyöngy.* (Németül: expandiertes Polystyrol). A polisztirol gyöngy duzzasztott termék, amelynek alapanyaga a kőolajból előállított, finomszemű, polimerizált, hajtógázzal adagolt sztirol, amely habosítása során eredeti térfogatának 20-50-szeresére duzzad. Az így létrejött gyöngy cellaszerkezete zárt, szemnagysága 0,5-4 mm, halmazsűrűsége 15-35 kg/m$^3$. Felhasználható padlók, födémek, tetők hőszigetelő betonjának, vagy hőszigetelő habarcsok könnyű adalékanyagaként. Magyarországon is gyártják (például: AUSTROTHERM Kft.).

*Fagyapot, faforgács.* A fagyapot (németül: Holzwolle) 200-500 mm hosszú, 0,5-5 mm széles, 0,03-0,5 mm vastag, a faforgács (németül: Holzabfall, Holzspäne) 30-400 mm hosszú, 20-30 mm széles, max. 15 mm vastag, vegyszeres kezeléssel tartósított rostos faanyag, amelyből cement-kötéssel kis testsűrűségű, hőszigetelő tulajdonságú, ún. fabetont lehet előállítani. A cementkötésű fagyapotlap (például Heraklith) testsűrűsége 380-480 kg/m$^3$, a cementkötésű faforgácslapé (például Durisol) 500-600 kg/m$^3$. A fabeton lemezekből hő-, és hangszigetelő réteget, zsaluzatot, térhatároló lapot szoktak készíteni. A fabeton termékeket Magyarországon is gyártják, például Zalaegerszegen (Heraklith); Nádudvaron (Durisol).

*Rizshéj.* (Németül: Reiskruste). A rizs hántolásakor keletkező rizshéj testsűrűsége 100-150 kg/m$^3$, felhasználásával cementkötésű sajtolt rizshéjbeton lap vagy falazóelem készíthető. A rizshéjbeton testsűrűsége mintegy 600 kg/m$^3$, nyomószilárdsága 3-12 N/mm$^2$. Alkalmazása hazánkban nem terjedt el.

Néhány könnyű adalékanyag jellemző tulajdonsága a következő táblázatban található.

| | Tufa | Duzzasztott agyagkavics | Duzzasztott perlit | Zúzott tégla | Duzzasztott üvegkavics |
|---|---|---|---|---|---|
| Anyagsűrűség, kg/m$^3$ | 2500-2800 | 2500-2600 | | | 2050-2450 |
| Testsűrűség, kg/m$^3$ | 1200 - 2500 | 650-1600 | | 1950-2150 | 300-1450 |
| Halmazsűrűség, kg/m$^3$ | | 300-800 | 50-180 | 980-1250 | 180-900 |
| Porozitás, térfogat% | 15-50 | 45-75 | | | 35-85 |
| Vízfelvétel, tömeg% | 2-25 | 20-50 | | 15-25 | 1-60 |
| Nyomószilárdság, összilárdság | 6-80 N/mm$^2$ (Nyomószilárdság szabályos alakú próbatesten mérve) | 1,5-10,5 N/mm$^2$ (20 mm-es összenyomódáshoz tartozó összilárdság) | | 1,2-2,8 (Hummel-féle szétmorzsolódási tényező) / 1,5-4,5 N/mm$^2$ (A 20 mm-es összenyomódás-hoz tartozó összilárdság) | 0,5-13,0 N/mm$^2$ (20 mm-es összenyomódáshoz tartozó összilárdság) |
| Könnyűbeton testsűrűsége, kg/m$^3$ | 1300-2250 | 800-1800 | 200-750 | 1800-1900 | 600-1800 |
| Könnyűbeton nyomó-szilárdsága, N/mm$^2$ | 5-40 | 8-45 | 0,2-3,5 | 12-25 | 2-45 |

Jelmagyarázat: ◈ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2002. november havi számának 3-5. oldalán

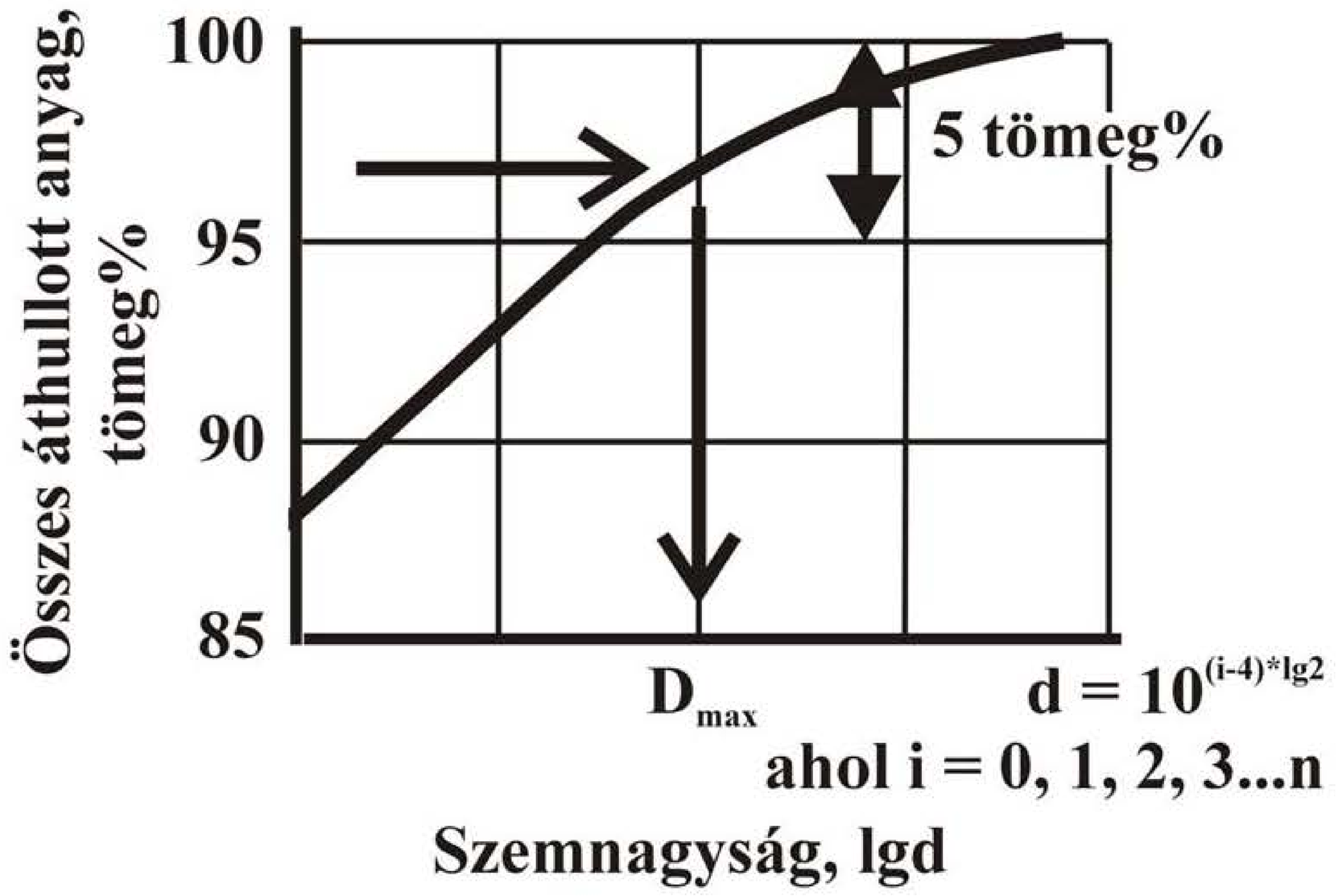
| | **Legnagyobb szemnagyság** | |
|---|---|---|

| | |
|---|---|
| Németül: | Größtkorn, obere Korngröße, obere Siebgröße, Überkorngröße |
| Angolul: | Upper sieve size, maximum sieve size |
| Franciául: | Grande dimension du grain, dimension des tamis supérieurs |

Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága a betontechnológiának, illetve a finomsági modulus ❖ mellett az adalékanyag ❖ szemmegoszlásának ❖ egyik legfontosabb jellemzője. Szokás *névleges* legnagyobb szemnagyságnak is nevezni, illetve a *felső szitamérettel* kifejezni. Mértékegysége mm. Jele: $d_{max}$, $D_{max}$, $D$.

Értelmezésére többféle lehetőség kínálkozik:

- *Általánosságban* a legnagyobb szemnagyság alatt annak a szabványos (MSZ EN 933-2:1998), *legkisebb* „duplázódó" vagy „felező" vizsgálószitának a nyílását (8, 12, 16, 20, 24, 32, 48, 63 mm) értjük, amelyen a fennmaradt összes anyag mennyisége legfeljebb 5 tömeg%, illetve ha az adalékanyag szemek testsűrűsége nem azonos, akkor legfeljebb 5 térfogat% (*1. ábra)*.

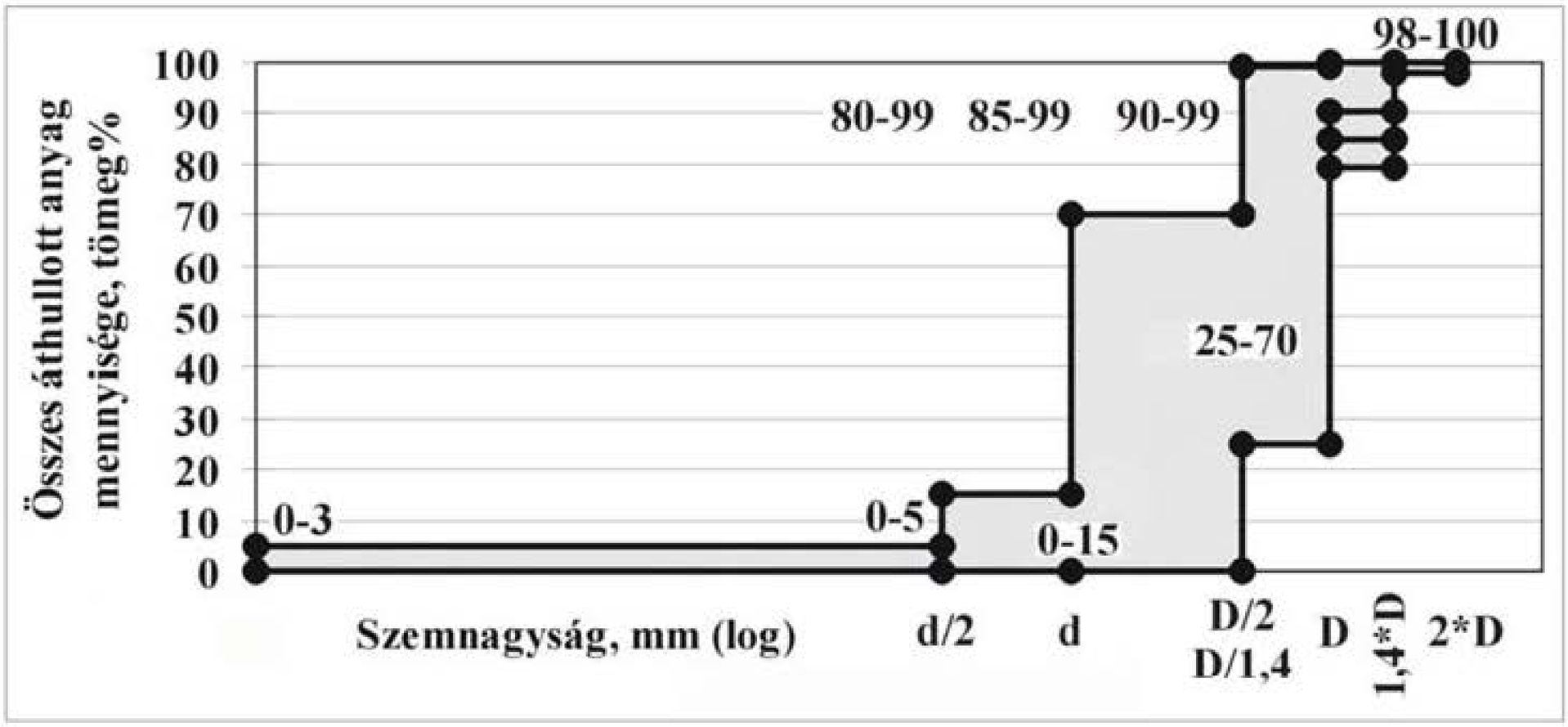



*1. ábra. Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának ($D_{max}$) meghatározása*

- *Adalékanyag keverék* (például 0/16 mm szemnagyságú folyamatos vagy lépcsős szemmegoszlású homokos kavics) esetén legnagyobb szemnagyságnak azoknak a szabványos (MSZ 4798-1:2004) szemmegoszlási határgörbéknek illetve határpontoknak a legnagyobb szemnagyságát tekintjük, amely határgörbéknek illetve határpontoknak az adalékanyag keverék szemmegoszlása megfelel. A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő szitán ($D$) a határgörbék szerint az adalékanyag keverék 95-100 tömeg%-a át kell essen. A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő határpontok követelménye ennél lazább: 85-99 illetve 90-99 tömeg%. A keverékek maradéktalanul át kell essenek a határgörbék alapján

a legnagyobb szemnagyság mintegy másfélszeresének (1,3·*D* – 1,6·*D*), a határpontok alapján a legnagyobb szemnagyság kétszeresének (2·*D*) megfelelő nyílású szitán (MSZ 4798-1:2004 szabvány M melléklet).

- *Osztályozott adalékanyag frakció* esetén a legnagyobb szemnagyság a frakció szabványos (MSZ 4798-1:2004) felső szitamérete (*D*). A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő szitán (*D*) áthullott összes anyag mennyisége szűk kavics frakció (például 4/8, 8/16 mm) esetén 80-99 tömeg%, homok frakció (például 0/2, 2/4 mm), szűk homokos kavics frakció (például 2/8 mm), nyújtott kavics frakció (például 4/16 mm) esetén 85-99 tömeg%, nyújtott homokos kavics frakció (például 2/16 mm) esetén 90-99 tömeg% kell legyen (*2. ábra*). A frakciók a legnagyobb szemnagyság kétszeresének (2·*D*) megfelelő nyílású szitán maradéktalanul át kell essenek (MSZ 4798-1:2004).

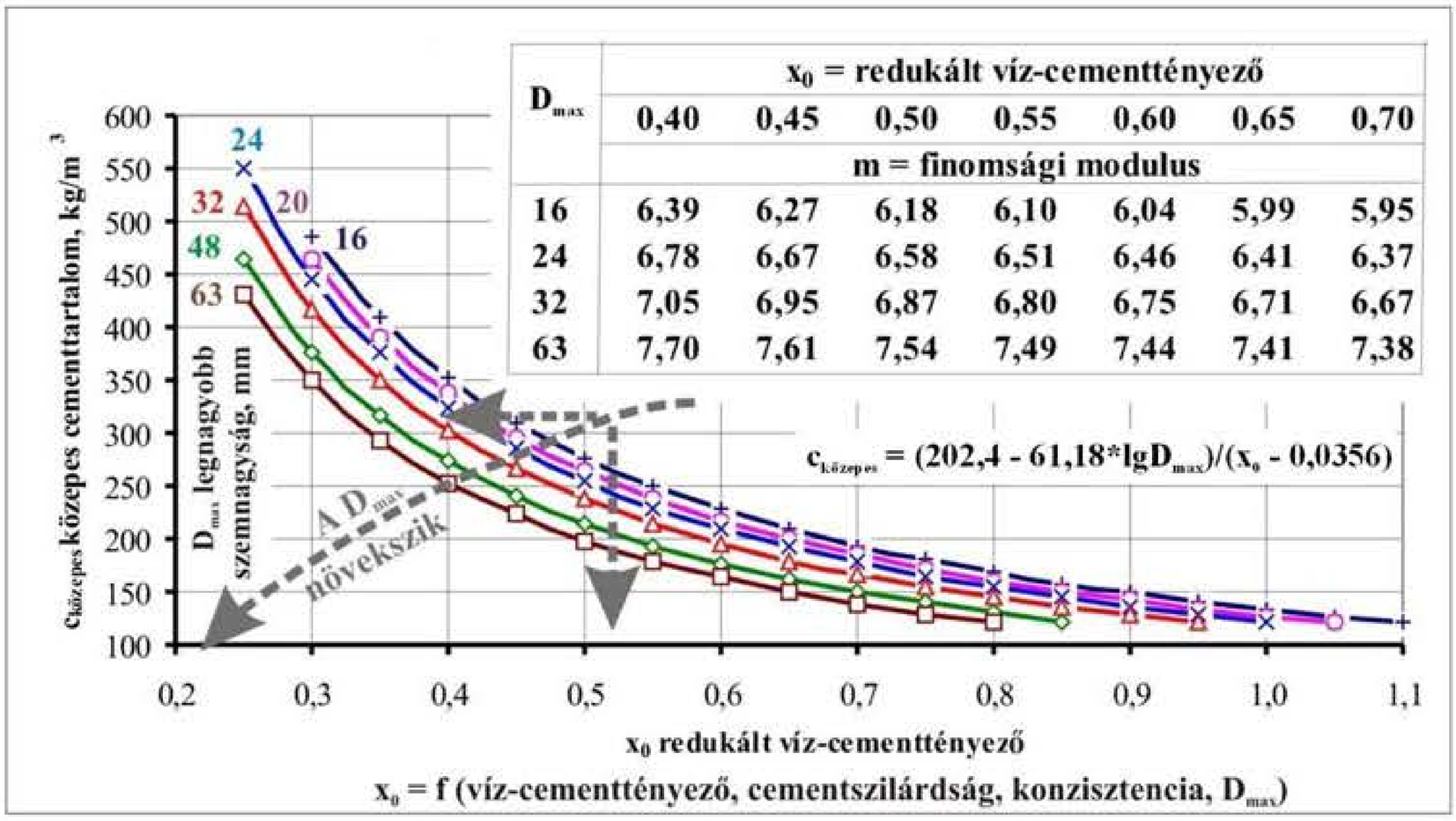



*2. ábra. Példa az osztályozott adalékanyag frakció legnagyobb szemnagyságának (D) és szemmegoszlásának követelményére*

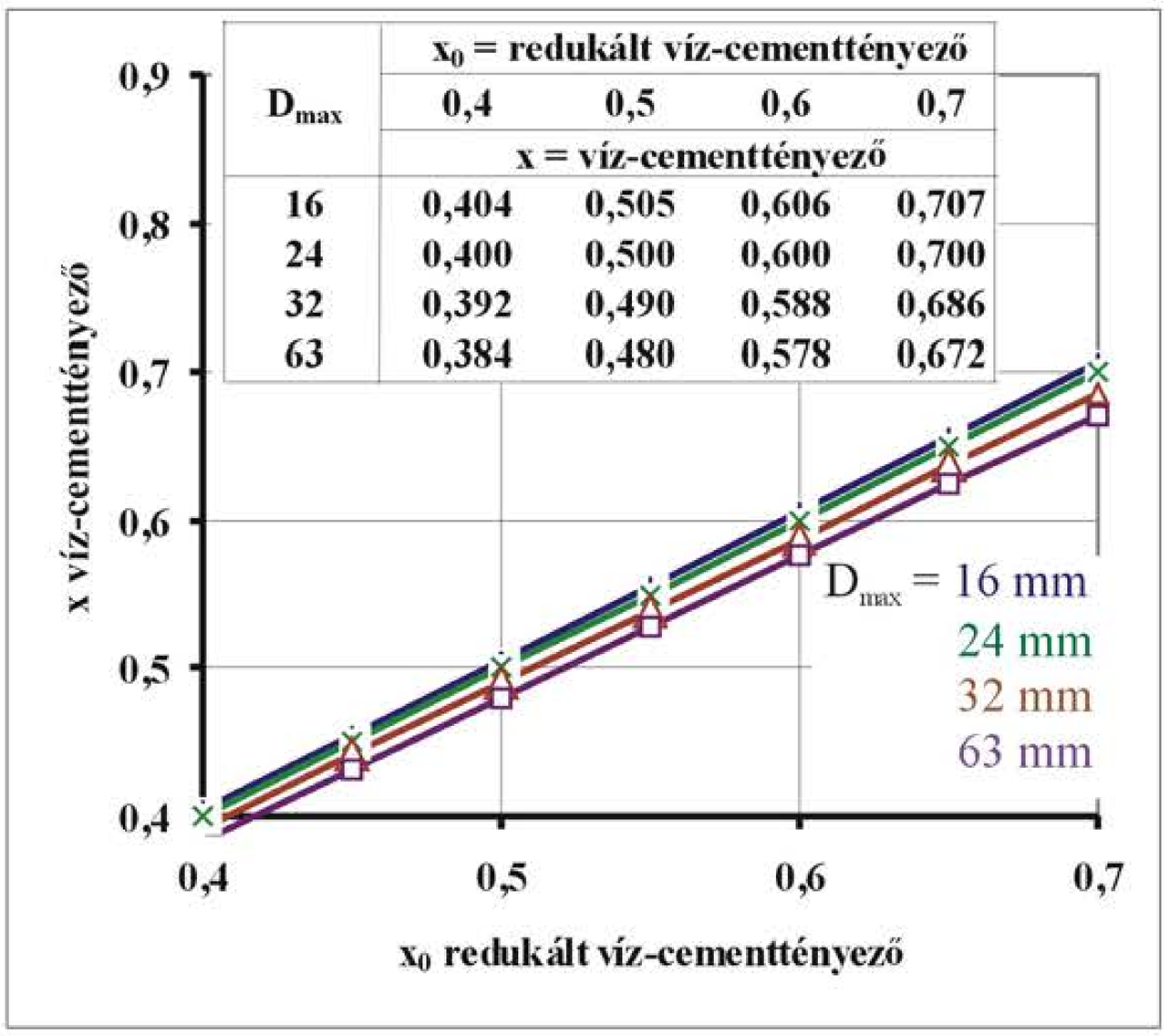
A helyesen megválasztott legnagyobb szemnagyság előnyös betonösszetételt eredményez. *Az 3. ábrán* látható, hogy ha az adalékanyag legnagyobb szemnagyságát a többi összetevő optimális változtatása mellett növeljük, akkor

- *egyrészt* adott *Palotás-féle* $x_0$ redukált víz-cementtényező ❖ esetén a szükséges $c_{közepes}$ cementtartalom ❖ csökken, miközben adott szilárdsági osztályú cement ❖ és konzisztencia ❖ mellett az *x* víz-cementtényező ❖ kissé csökken (*4. ábra*) és ezért a beton nyomószilárdsága ❖ valamelyest növekszik;

- *másrészt* adott $c_{közepes}$ cementtartalom esetén az $x_0$ redukált víz-cementtényező csökken, miközben adott szilárdsági osztályú cement és konzisztencia mellett az *x* víz-cementtényező jelentősen csökken (*4. ábra*) és ezért a beton nyomószilárdsága számottevően növekszik.




*3. ábra. Összefüggés a redukált víz-cementtényező, a cementtartalom és a legnagyobb szemnagyság között*




*4. ábra. Összefüggés a redukált víz-cementtényező, a víz-cementtényező és a legnagyobb szemnagyság között, földnedves konzisztencia és 42,5 szilárdsági osztályú cement esetén*

Általánosan elfogadott nézet, hogy az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának növelése változatlan vízadagolás mellett javítja a beton bedolgozhatóságát, változatlan bedolgozhatóság mellett csökkenti a vízigényt és növeli a beton nyomószilárdságát, változatlan bedolgozhatóság és nyomószilárdság mellett csökkenti a szükséges cementadagolást.

Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága azonban egyszerű geometriai okok folytán nem növelhető korlátlanul. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a betonadalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága nem lehet nagyobb, mint a következő három adat közül a legkisebb:

- a szerkezetrész legkisebb méretének egyharmada;

- a névleges betonfedés ❖ kétharmada;

- az acélbetétek ❖ egymástól való legkisebb távolságának (a legkisebb szabad nyílásnak) kétharmada.

Korszerű, különleges betontechnológiák sok esetben olyan adalékanyagot igényelnek, amelynek legnagyobb szemnagysága a hagyományoshoz képest kisebb. Például a lövellt beton ❖ adalékanyagának legnagyobb szemnagysága általában 8-16 mm közé esik, a nagyszilárdságú betoné ❖ olykor ennél is kisebb. *H.-M. Ludwig* és *R. Thiel* olyan különleges összetételű nagy-teljesítőképességű finombeton (HLF = Hochleistungsfeinkornbeton) tulajdonságairól és alkalmazási lehetőségeiről számoltak be, amelynek nyomószilárdsága nagyobb mint 150 N/mm$^2$, és amelyet 0,5 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal (kvarchomokkal) stb. készítettek.

Felhasznált irodalom:

Ludwig, Horst-Michael – Thiel, Roland: Hochleistungsfeinkornbetone. Eigenschaften und Anwendungsperspektiven. Betonwerk+Fertigteil-Technik. 2004. 2. szám. p.26-27.

Palotás László – Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

MSZ EN 933-2:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Vizsgálósziták, a szitanyílások névleges mérete

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Megjelent a | BETON szakmai havilap | 2004. december havi számának 8-9. oldalán |

## 4. példa.

### Példa az adalékanyag részhalmazok arányának meghatározására határgörbék közé illesztéssel

### Feladat

A $d_{max}$=24 mm legnagyobb szemnagyságú, és $m_k$ = 6,8 finomsági modulusú adalékanyag keveréket állítsuk 0-4 mm, 4-16 mm, 16-24 mm szemnagyságú részhalmazokból össze. A részhalmazok és keverék szemmegoszlását nem ismerjük, de feltételezzük, hogy azok a határgörbékkel harmonizálnak. Határozzuk meg a részhalmazok keverési arányát és szerkesszük meg a keverék szemmegoszlási görbéjét.

### Megoldás:

Számítsuk ki minden szemnagyságra a keverék $a_k$-val jelölt összes áthullott mennyiségét, ha a keverék szemmegoszlási görbéjét közrefogó A és B határgörbék összes áthullott anyagának mennyiségét $a_A$-val és $a_B$-vel, valamint a finomsági modulusokat rendre $m_k$-val, $m_A$-val, $m_B$-vel jelöljük:

$$a_k = (a_B - a_A) \cdot \frac{m_A - m_k}{m_A - m_B} + a_A$$

Szemmegoszlási görbék értéke, ha $d_{max}$ = 24 mm

| Szemnagyság, mm | Határgörbe jele | | | Számított keverék |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | |
| | Összes áthullott mennyisége, tömeg% | | | |
| 0,063 | 0 | 0 | 3 | 0,0 |
| 0,125 | 0 | 4 | 6 | 1,1 |
| 0,25 | 2 | 9 | 16 | 4,0 |
| 0,5 | 5 | 18 | 29 | 8,6 |
| 1 | 10 | 27 | 42 | 14,8 |
| 2 | 18 | 39 | 54 | 23,9 |
| 4 | 30 | 53 | 66 | 36,4 |
| 8 | 49 | 70 | 81 | 54,9 |
| 16 | 78 | 85 | 93 | 80,0 |
| 24 | 95 | 97 | 100 | 95,6 |
| 32 | 100 | 100 | 100 | 100,0 |
| | **Finomsági modulus** | | | |
| | 7,13 | 5,95 | 5,10 | 6,76 |

Pl: a 4 mm-es szemnagyság helyén az adalékanyag keverék szemmegoszlási görbéjének ordinátája:

$a_{k-4} = (53-30)\times 0{,}28+30 = 36{,}4$

A keverék görbe ordinátáinak számítási eredményét a táblázat utolsó oszlopába írtuk be.

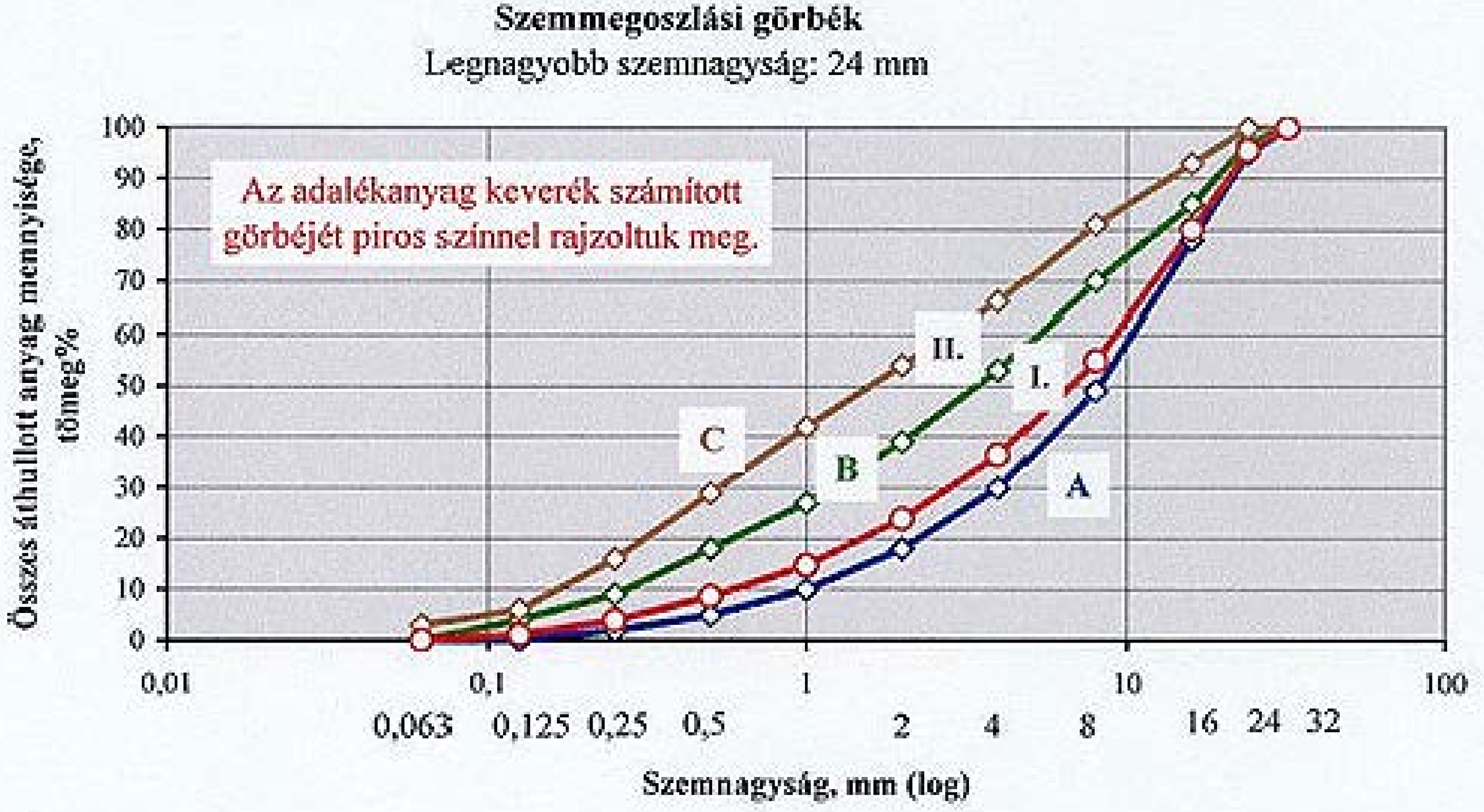
A számítás eredménye elfogadható, ha az adalékanyag keverék számított és tervezett finomsági modulusának eltérése legfeljebb ±0,05.

A részhalmazok keverési tömegarányát a táblázat utolsó oszlopából olvassuk le:

$\alpha_{0-4} = 0{,}634$

$\beta_{4-16} = 0{,}800-0{,}364 = 0{,}436$

$\gamma_{16-24} = 1-\alpha_{0-4}-\beta_{4-16} = 0{,}200$



**Ez egy aktív oldal képe. Az aktív oldalt letöltheti, ha e képre kattint!**

## 6. Példa a szemmegoszlási görbék szerkesztésére két frakció esetén

| Szem-nagy-ság mm | Írja be az értékeket! ⇓ Finom frakció | Írja be az értékeket! ⇓ Durva frakció | Ne nyúlj hozzá! ⇓ Hom. kav. keverék | Ne nyúlj hozzá! ⇓ |
|---|---|---|---|---|
| | Σ(Áthullott anyag mennyisége), tömeg% | | | |
| 48 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 |
| 32 | 100,0 | 91,6 | 94,3 | 100 |
| 24 | 100,0 | 77,6 | 84,9 | 100 |
| 16 | 100,0 | 57,8 | 71,4 | 100 |
| 12 | 96,5 | 43,9 | 60,9 | 100 |
| 8 | 90,3 | 29,4 | 49,1 | 100 |
| 4 | 81,0 | 14,0 | 35,7 | 100 |
| 2 | 62,5 | 4,7 | 23,3 | 100 |
| 1 | 42,0 | 1,0 | 14,2 | 100 |
| 0,5 | 28,3 | 0,0 | 9,1 | 100 |
| 0,25 | 15,9 | 0,0 | 5,2 | 100 |
| 0,125 | 6,2 | 0,0 | 2,0 | 100 |
| 0,063 | 2,2 | 0,0 | 0,7 | 100 |
| 0,063 | 2,2 | 0,0 | 0,7 | 0 |

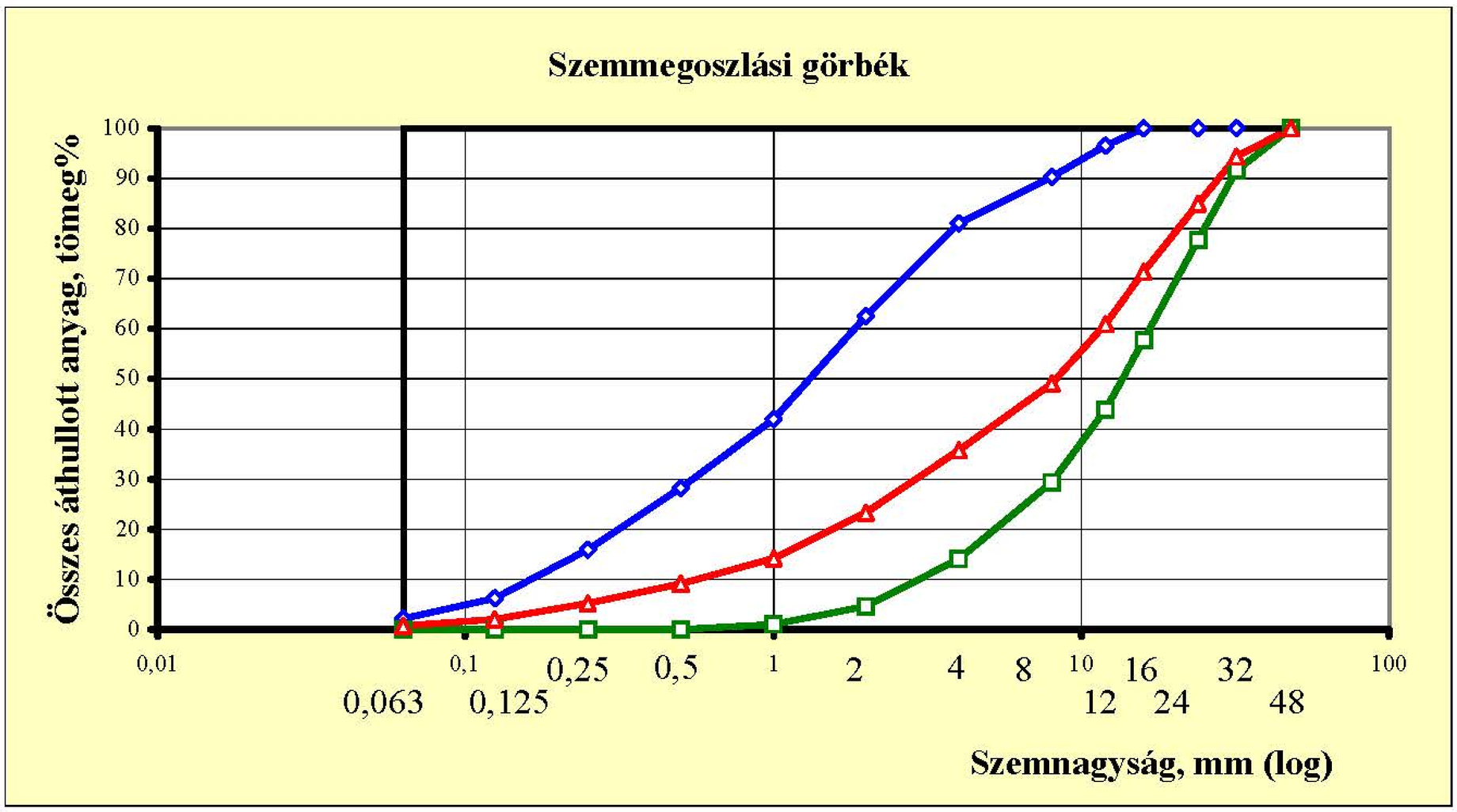
⇐ **Ehhez a sorhoz ne nyúlj hozzá!**

Ha a finom frakció és a durva frakció oszlopaiba beírja a megfelelő "összes áthullott anyag mennyisége" ordináta értékeket, és a táblázat alatt kijelölt helyre beírja a finom frakció $\alpha_{finom}$ részarányát, akkor egyrészt a táblázat "Hom. kav. keverék" oszlopában megjelennek az ordináta értékek, másrészt az ábrán megjelennek a görbék. Amihez "ne nyúlj hozzá", ahhoz ne nyúljon! Ha az ábrát kijelöli, akkor külön lapra ki lehet nyomtatni.

**A felező-szitákhoz tartozó, <u>görbe feletti</u> ordinátákat ne számítsa be a finomsági modulusba!**

| $\alpha_{finom}$ = |
|---|
| 0,323 |

⇐ **Ide írja be az $\alpha_{finom}$ értékét, három tizedesre pontosan.**




Ne felejtse el a finomsági modulusokat (mind a hármat), és a $d_{max}$ legnagyobb szemnagyságokat (mind a hármat) megadni.

Ha a szemmegoszlási görbe koordináta-rendszerét ***számítógéppel*** nem úgy rajzoljuk meg, hogy az abszcissza-tengelyen logaritmus skálabeosztást állítunk be, hanem úgy, hogy az abszcissza-tengely skálabeosztása lineáris, vagy ***kézzel*** rajzolva a görbét az abszcissza-tengely skálabeosztását lineáris beosztású vonalzóval (mérőléccel) szerkesztjük meg, akkor a szemnagyságokhoz tartozó abszcissza-tengely skálabeosztások a következők:

| **Szem-nagy-ság, *d* mm** | $^{10}\log d$ | A $^{10}\log d$ és a megelőző duplázódó szita $^{10}\log d_{\text{megelőző duplázódó}}$ értékének különbsége, ahol $0{,}30103 = {}^{10}\log 2$ $\Delta\,{}^{10}\log d_{\text{megelőző duplázódó}}$ | **$^{10}\log d$ *megelőző duplázódá* $^{10}\log 2$** azaz, ha a duplázódó sziták abszcissza-beosztásainak távolsága egymástól 1,0 egység, akkor a felező-szita abszcissza-beosztásának távolsága a megelőző duplázódó szitáétól 0,585 egység. | |
|---|---|---|---|---|
| | | | * | ** |
| **48** | 1,68124 | 0,17609 | **0,585** | **9,585** |
| **32** | 1,50515 | 0,30103 | **1,000** | **9,000** |
| **24** | 1,38021 | 0,17609 | **0,585** | **8,585** |
| **16** | 1,20412 | 0,30103 | **1,000** | **8,000** |
| **12** | 1,07918 | 0,17609 | **0,585** | **7,585** |
| **8** | 0,90309 | 0,30103 | **1,000** | **7,000** |
| **4** | 0,60206 | 0,30103 | **1,000** | **6,000** |
| **2** | 0,30103 | 0,30103 | **1,000** | **5,000** |
| **1** | 0,00000 | 0,30103 | **1,000** | **4,000** |
| **0,5** | -0,30103 | 0,30103 | **1,000** | **3,000** |
| **0,25** | -0,60206 | 0,30103 | **1,000** | **2,000** |
| **0,125** | -0,90309 | 0,29757 ~0,30103 | **1,000** | **1,000** |
| **0,063** | -1,20066 | 0,00000 | **0,000** | **0,000** |

*** Abszcissza beosztások távolsága a megelőző duplázódó szitáétól, egység**

**** Abszcissza beosztások távolsága a kezdőponttól, egység**

# 1. példa

# Példa az adalékanyag szemmegoszlásának tervezésére két részhalmazból

Készítette: Dr. Kausay Tibor

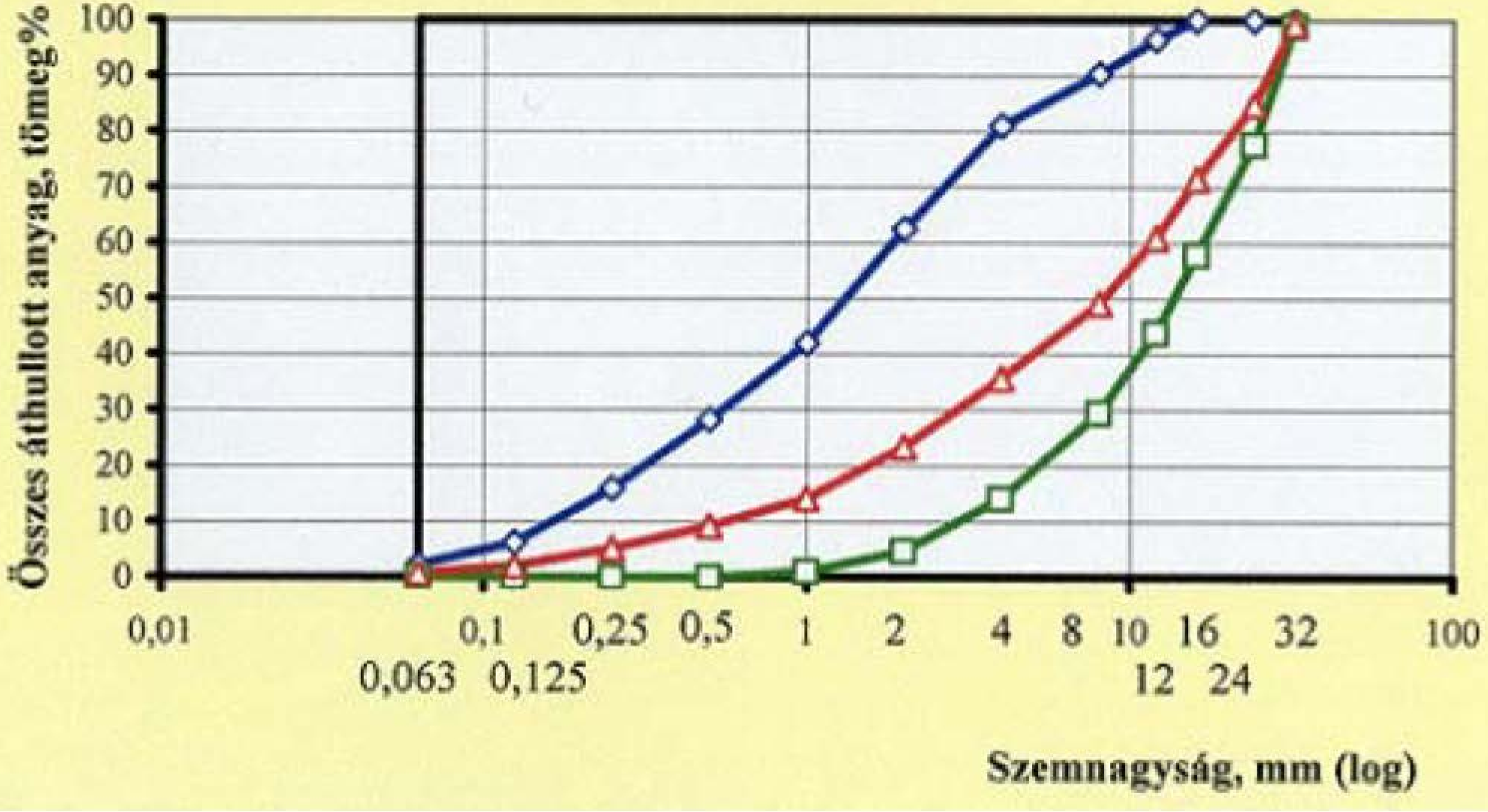
| Szem-nagyság mm | a) szemhalmaz: 0,063/12 mm homokos kavics | | | | b) szemhalmaz: 2/32 mm homokos kavics | | | | ∑ Áthullott részmennyiség | | Tervezett keverék | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fennmaradt anyag | | ΣFennm. | ΣÁth. | Fennmaradt anyag | | ΣFennm | ΣÁth. | $\alpha\times\Sigma Áth_{a)}$ | $\beta\times\Sigma Áth_{b)}$ | ΣÁth. | ΣFennm. |
| | g | tömeg% | tömeg% | tömeg% | g | tömeg% | tömeg% | tömeg% | tömeg% | tömeg% | tömeg% | tömeg% |
| 32 | – | – | 0,0 | 100,0 | 110 | 1,1 | 1,1 | 98,9 | 32,3 | 67,0 | 99,3 | 0,7 |
| 24 | – | – | 0,0 | 100,0 | 2120 | 21,3 | 22,4 | 77,6 | 32,3 | 52,6 | 84,9 | 15,1 |
| 16 | – | – | 0,0 | 100,0 | 1980 | 19,8 | 42,2 | 57,8 | 32,3 | 39,1 | 71,4 | 28,6 |
| 12 | 175 | 3,5 | 3,5 | 96,5 | 1390 | 13,9 | 56,1 | 43,9 | 31,2 | 29,7 | 60,9 | 39,1 |
| 8 | 310 | 6,2 | 9,7 | 90,3 | 1440 | 14,4 | 70,6 | 29,4 | 29,2 | 19,9 | 49,1 | 50,9 |
| 4 | 460 | 9,2 | 19,0 | 81,0 | 1535 | 15,4 | 86,0 | 14,0 | 26,2 | 9,5 | 35,7 | 64,3 |
| 2 | 925 | 18,6 | 37,5 | 62,5 | 935 | 9,4 | 95,3 | 4,7 | 20,2 | 3,2 | 23,3 | 76,7 |
| 1 | 1020 | 20,5 | 58,0 | 42,0 | 370 | 3,7 | 99,0 | 1,0 | 13,6 | 0,6 | 14,2 | 85,8 |
| 0,5 | 685 | 13,7 | 71,7 | 28,3 | 95 | 1,0 | 100,0 | 0,0 | 9,1 | 0,0 | 9,1 | 90,9 |
| 0,25 | 615 | 12,3 | 84,1 | 15,9 | – | – | 100,0 | 0,0 | 5,2 | 0,0 | 5,2 | 94,8 |
| 0,125 | 485 | 9,7 | 93,8 | 6,2 | – | – | 100,0 | 0,0 | 2,0 | 0,0 | 2,0 | 98 |
| 0,063 | 200 | 4,0 | 97,8 | 2,2 | – | – | 100,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | 99,3 |
| 0,0 | 110 | 2,2 | 100,0 | 0,0 | – | – | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100 |
| Összesen | **4985** | **100,0** | | | **9975** | **100,0** | | | Legnagyobb szemnagyság: | | | 32 mm |
| | | | | | | | | | Ellenőrzés, $m_{tervezett}$: | | | 6,90 |
| Legnagyobb szemnagyság: | | | 12 mm | | | | 32 mm | | | | | |
| Finomsági modulus: | | | 4,72 | | $m_{tervezett}$= 6,90 | | 7,94 | | | | | |
| Szemhalmaz tervezett részaránya: | | | $\alpha_{0,063/12}$ = 0,323 | | | | $\beta_{2/32}$ = 0,677 | | | | | |

Két homokos kavics szemmegoszlását szita módszerrel vizsgáltuk. A fenti táblázatban a finomabb anyag szita vizsgálatának eredményét kék számokkal, a durvább anyagét zöld számokkal tüntettük fel. Írja le a két számoszlop adatait. Ezután a két homokos kavicsból, mint részhalmazokból, állítson elő $m_{tervezett}$=6,9 finomsági modulusú adalékanyag keveréket.

Határozza meg, illetve ellenőrizze a finomsági modulust, a legnagyobb szemnagyságot, mindhárom anyagra és a részhalmazok keverési arányát.

Rajzolja meg a szemmegoszlási görbéket logaritmikus abszcissza tengely felett. **Miután elkészült**, hasonlítsa össze számítási és ábrabeli eredményeit ennek az oldalnak számítási eredményeivel és a szemmegoszlási görbék ábrájával.

## Szemmegoszlási görbék



## 2. példa.

# Példa az adalékanyag szemmegoszlásának összeállítására és betontervezésre

A homokos kavics adalékanyag keverék részhalmazonkénti (frakciónkénti) százalékos megoszlása a következő:

| | |
|---|---|
| 0,063 - 32 mm: | 50 tömeg% |
| 4 - 8 mm: | 15 tömeg% |
| 8 - 16 mm: | 35 tömeg% |
| **Összesen:** | **100 tömeg%** |

a) Szerkessze meg a részhalmazok és az adalékanyag keverék szemmegoszlási görbéjét annak feltételezésével, hogy a részhalmazok szemmegoszlása logaritmikus abszcisszatengely felett ábrázolva lineáris.

b) Számítsa ki a részhalmazok és az adalékanyag keverék finomsági modulusát.

c) A fenti adalékanyag keverék és CEM I 42,5 jelű portlandcement felhasználásával tervezze meg egy időjárásnak kitett helyen épülő vasbetonszerkezet betonját, ha a beton jele:

**C 40-32/KK**

és 200 mm méretű, 28 napos korú beton próbakockákon mért átlagos nyomószilárdsága:

**$R_{m,\,200}$= 57,3 N/mm$^2$**

*A betonok 1982 és 2004 között szabványos jeléről itt tájékozódhat:*

d) Ellenőrizze, hogy a finomsági modulus és cementtartalom eredményeként kapott, összetartozó értékei a határgörbék finomsági modulusai, a megkövetelt legkisebb cementtartalom és az m0 érték szerinti feltételeket kielégítik-e. Ha nem, akkor keresse meg a finomsági modulus és a cementtartalom optimális, összetartozó értékét, majd határozza meg a részhalmazok új finomsági modulusnak megfelelő új százalékos megoszlását.

e) Adja meg 1 m$^3$ betömörített beton összetételét, ha a beton levegő tartalma 1,2 térfogat%.

## A feladat megoldása

Az adalékanyag szemmegoszlásának összeállítása

Finomsági modulus számítása

0,063 - 32 mm szemnagyságú részhalmaz: 5,00 $= m_1$

mert: $$m_{0,063-32} = \frac{1}{100} * \sum_{i=1}^{n/2} (b_i + b_{n+1-i})$$ ahol n=10

4 - 8 mm szemnagyságú részhalmaz: 7,00 $= m_2$

mert: $$m_{4-8} = \frac{1}{100} * \sum_{i=1}^{7} b_i$$ ahol $b_i$=100

8 - 16 mm szemnagyságú részhalmaz: 8,00 $= m_3$

mert: $$m_{8-16} = \frac{1}{100} * \sum_{i=1}^{8} b_i$$ ahol $b_i$=100

0,063 - 32 mm szemnagyságú keverék: 6,35 $= m_{keverék}$

mert: $$m_{keverék} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n} b_i$$ ahol n=10

és mert: $\alpha * m_1 + \beta * m_2 + \gamma * m_3 = m_{keverék}$

tehát ellenőrzésképpen: 6,35 $= m_{keverék}$

# Betontervezés

A kavicsbeton tervezés hivatkozott képletei megnyithatók, ha ide kattint:

| | | |
|---|---|---|
| (2) képletből: x = 0,344 | mert a cementminőség folytán | A = 22 |
| (3) képletből: $x_0$ = 0,305 | mert a konzisztencia folytán | h = 1,15 |
| | mert cementminőség folytán | $h_0$= 1,00 |
| | mert a legnagyobb szemnagyság folytán | $h_1$ = 0,98 |
| (6) képletből: c = 520,5 | kg/tömör beton $m^3$ | |

Ellenőrzés:

$m_{32,A} = 7,54 > \mathbf{6,35} > 6,25 = m_{32,B}$ Osztály I.

tehát a finomsági modulus a
határgörbék finomsági modulusa
szerint **megfelel**.

c = 520,5 > 240 kg/tömör beton $m^3$

tehát a cementtartalom az
időjárási feltétel szerint az I.
osztályú szemmegoszlás és az
adott legnagyobb szemnagyság
mellett **megfelel.**

(7) képletből: $m_0$ = 7,66 mert a legnagyobb szemnagyság: 32 mm

(8) képletből: $0,89 \times m_0 = 6,82 > 6,35 < 8,20 = 1,08 \times m_0$

tehát a finomsági modulus és a cementtartalom értékpár **nem felel meg,** mert az
*m* finomsági modulus nem esik a $0,89 \times m_0$ és az $1,07 \times m_0$
szorzatok értékei közé

Meg nem felelő értékek javítása:

(10.1) képletből: $c_{min}$ = 365,6 kg/tömör beton $m^3$ a legkisebb megfelelő cementtartalom

(10.3) képletből: $c_{max}$ = 479,5 kg/tömör beton $m^3$ a legnagyobb megfelelő cementtartalom

A feladat megoldása úgy, hogy a részhalmazok keverési aránya csak kis mértékben változzék:

**c = 479,5 kg/tömör beton $m^3$**, amelyhez tartozó finomsági modulus értéke:

(5) képletből: **m = 6,72**

az $\alpha \times m_1 + \beta \times m_2 + \gamma \times m_3 = m_{keverék}$
és

$\alpha + \beta + \gamma = 1$ összefüggésekben, a 4-8 mm szemnagyságú részhalmaz

$\beta$ = 0,15 részarányát megtartva kiszámítjuk a részhalmazok

megfelelő új részarányát, amelyet alkalmazva a keverék finomsági modulusa a javított értéket veszi fel:

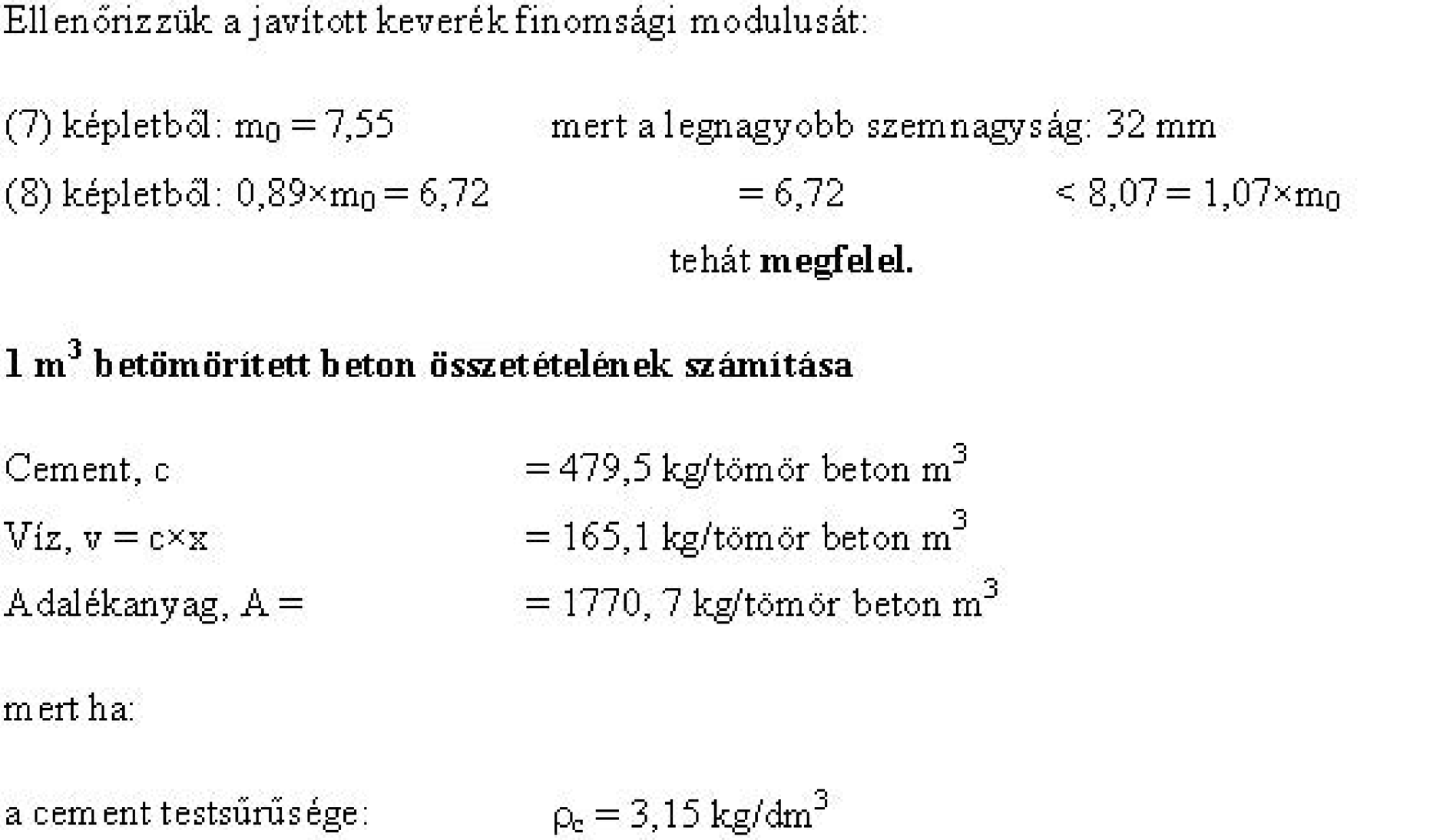
$$\alpha = \frac{m_3 - m_{keverék} - \beta \cdot (m_3 - m_2)}{m_3 - m_1}$$

$\alpha = 0{,}378$

$\beta = 0{,}150$

$\gamma = 0{,}472$

Az adalékanyag javított részarányok szerinti szemmegoszlási görbéje:




Ellenőrizzük a javított keverék finomsági modulusát:

(7) képletből: $m_0 = 7{,}55$ mert a legnagyobb szemnagyság: 32 mm

(8) képletből: $0{,}89 \times m_0 = 6{,}72$ $= 6{,}72$ $< 8{,}07 = 1{,}07 \times m_0$

tehát **megfelel.**

**1 $m^3$ betömörített beton összetételének számítása**

Cement, c $= 479{,}5$ kg/tömör beton $m^3$

Víz, $v = c \times x$ $= 165{,}1$ kg/tömör beton $m^3$

Adalékanyag, A = $= 1770{,}7$ kg/tömör beton $m^3$

mert ha:

a cement testsűrűsége: $\rho_c = 3{,}15$ kg/$dm^3$

az adalékanyag testsűrűsége: $\rho_A = 2{,}64$ kg/$dm^3$

a tömör beton levegő tartalma: $V_L = 12{,}00$ liter/$m^3$

akkor az 1 $m^3$ (=1000 liter) tömör beton térfogat szerinti összetételéből, amit a következő összefüggéssel fejezünk ki:

$$\mathbf{1000} = \frac{C}{\rho_c} + v + V_A + V_L \qquad \text{liter/tömör beton } m^3$$

adódik, hogy:

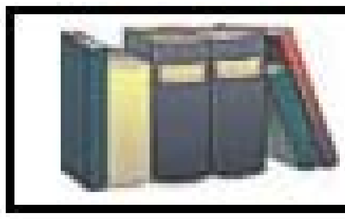
az adalékanyag térfogata: $V_A = 670{,}7$ **liter**/tömör beton $m^3$

és tömege: $A = V_A \times \rho_A = 1770{,}7$ **kg**/tömör beton $m^3$

Ha az adalékanyag tömegét részarányonként részhalmazokra bontjuk, akkor megkapjuk az 1 $m^3$ tömör beton összetételét:

| **A beton összetétele** | | **kg/tömör beton $m^3$** |
|---|---|---|
| Cement: | | **479,5** |
| Víz | | **165,1** |
| 0,063-32 mm szemnagyságú homokos kavics: $\alpha = 0{,}378$ | | **669,2** |
| 4-8 mm szemnagyságú kavics: | $\beta = 0{,}150$ | **265,6** |
| 8-16 mm kavics: | $\gamma = 0{,}472$ | **835,8** |
| **A betömörített friss beton testsűrűsége, szumma:** | $\rho_{friss\ beton}=$ | **2415,2** |

# Szemalak

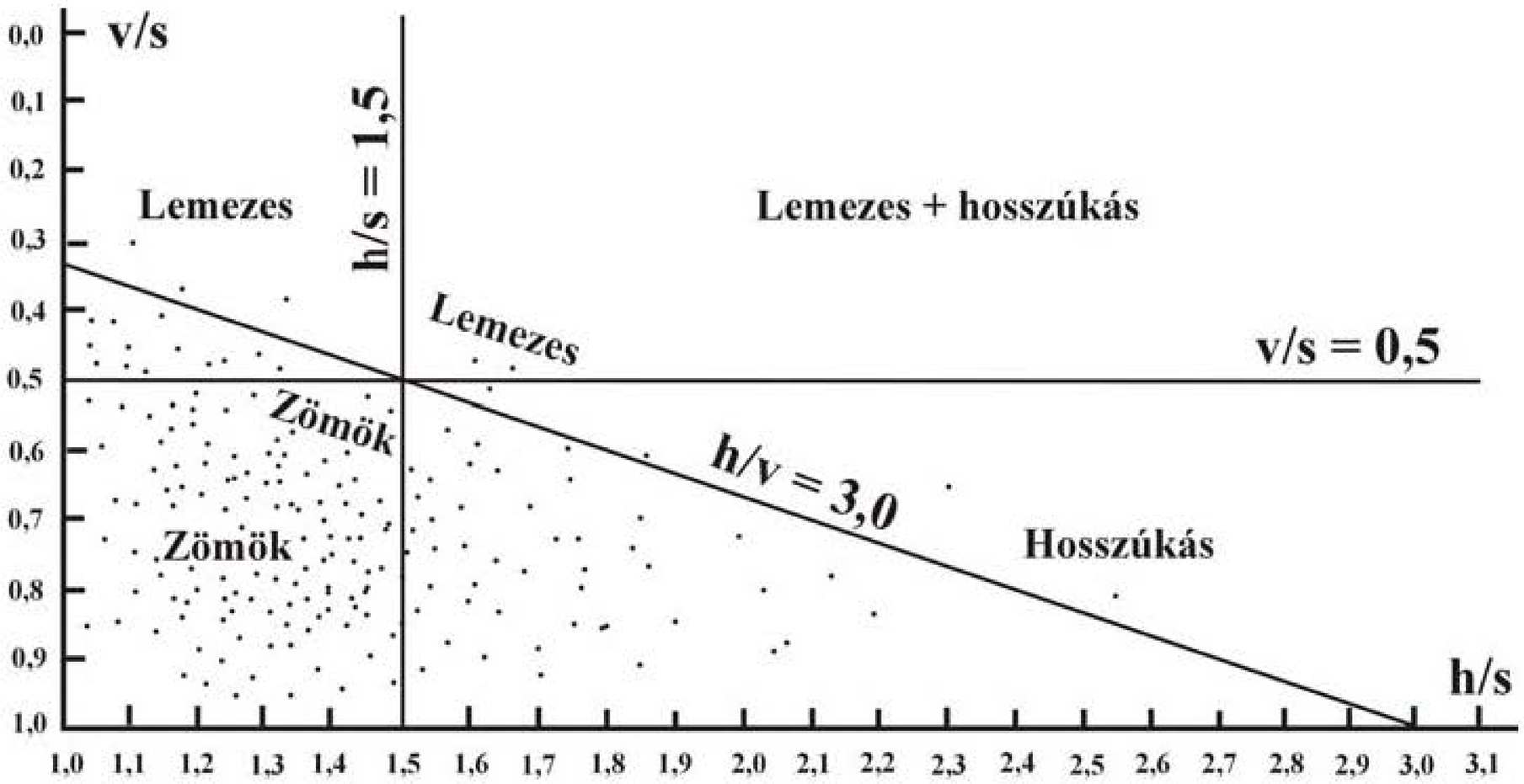


| | |
|---|---|
| Németül: | Kornform |
| Angolul: | Particle shape |
| Franciául: | Forme des granulats |

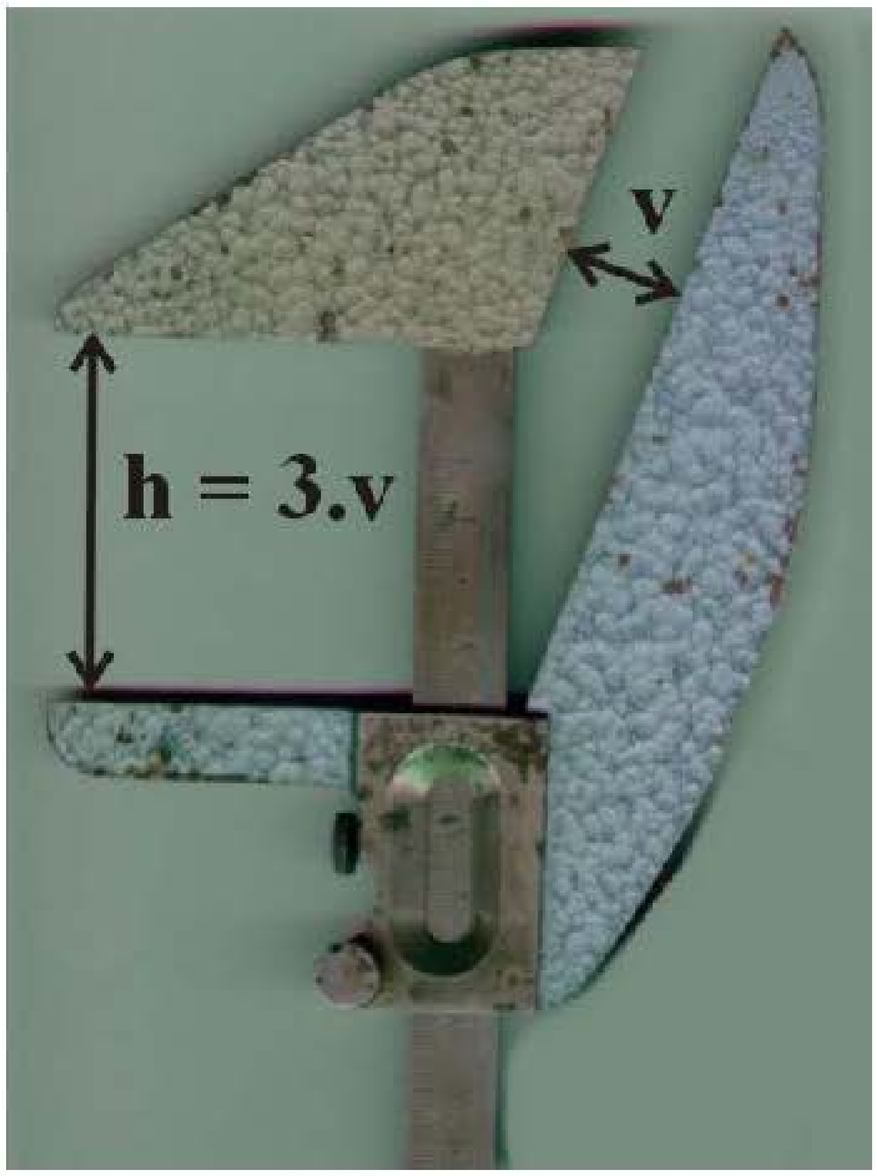
A szemalak az adalékanyagot ⁘ jellemző geometriai fogalom, a szemmegoszlással ⁘ együtt része a szemszerkezetnek. Tárgyalása során a szem nagyságától és felületi érdességétől elvonatkoztatunk, és fogalom-meghatározását a *4 mm-nél nagyobb* szemnagyságú szemekre értelmezzük. A szem alakját a képzeletben köré írható szabályos alakú test (például hasáb vagy ellipszoid) egymásra merőleges három fő méretének (**h**osszúság ≥ **s**zélesség ≥ **v**astagság) tengelyarányával fejezzük ki. A h/s és v/s tengelyű koordinátarendszerben az adalékanyag 4 mm feletti frakcióinak szemalakját ponthalmazzal, a tengelyarányokat egyenes vonallal lehet ábrázolni (MSZ 18228-3:1978). A h/s = hosszúság/szélesség hányados 1,0 és 3,5 közé eső (a hosszabb szemek általában eltörnek), és a v/s = vastagság/szélesség hányados 1,0 és zérus közé eső viszonyszám. Kocka vagy gömb esetén: h = s = v. Az MSZ 18288-3:1978 szabvány nevezéktana szerint

- a szem zömök, ha $1{,}0 \leq h/s < 1{,}5$ és $1{,}0 \geq v/s > 0{,}5$
- a szem hosszúkás, ha $1{,}5 \leq h/s < 3{,}5$ és $1{,}0 \geq v/s > 0{,}5$
- a szem lemezes, ha $1{,}0 \leq h/s < 1{,}5$ és $0{,}5 \geq v/s > 0{,}0$
- a szem hosszúkás + lemezes, ha $1{,}5 \leq h/s < 3{,}5$ és $0{,}5 \geq v/s > 0{,}0$

A *zúzottkövek* ⁘ *4 mm-nél nagyobb* (ún. durva) szemeinek szemalakját három fő méret helyett két fő méret viszonyszámával fejezik ki. A v/s tengelyaránnyal való jellemzés napjainkig volt szokásos (ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás), és zömök alakúnak az $1{,}0 \geq v/s > 0{,}5$ viszonyszámú, lemezes alakúnak a $0{,}5 \geq v/s > 0{,}0$ viszonyszámú szemeket nevezték (MSZ 18228/3:1978). A közelmúltban érvényre lépett európai adalékanyag termék szabványok (MSZ EN 12620:2003, MSZ EN 13043:2003 stb.) és az új ÚT 2-3.601:2005 útügyi műszaki előírás a szemalakot a h/v tengelyaránnyal jellemzik, eszerint zömök alakúak az $1{,}0 \leq h/v \leq 3{,}0$ viszonyszámú és lemezes alakúak a $h/v > 3{,}0$ viszonyszámú szemek (*1. ábra*), amelyek a gyakorlatban az MSZ EN 933-4:2000 szerinti szemalak tolómérővel (*2. ábra*) egyszerűen szétválaszthatók, és mennyiségük a frakcióban tömeg%-ban kifejezhető.




1. ábra. Szemalak ábra




2. ábra. Szemalak tolómérő

Az MSZ EN 933-3:1998 (módosítva 2004-ben) szabvány a szűk frakcióhatárú durva zúzottkő mintában réses rosta alkalmazásával, hozzávetőlegesen a v/s = 0,56 tengelyaránynál osztja ketté a zömök és a lemezes szemeket.

*A homokok* ❖ és a *4 mm-nél kisebb* szemnagyságú (ún. finom) zúzottkő frakciók szemalakja közvetve a kifolyási idővel fejezhető ki, amit kifolyási tölcsérrel lehet mérni (MSZ 18288-3:1978 és MSZ EN 933-6:2003). Az „A" jelű (Φ10 mm nyílású) tölcsért 0,063 – 1,0 mm szemnagyságú, a „B" jelű (Φ25 mm nyílású) tölcsért 1,0 – 4,0 mm szemnagyságú vizsgálati minta esetén kell használni. A vizsgálat eredménye az 1 $dm^3$ testtérfogatú szemhalmaz kifolyásához szükséges idő másodpercben, amit kifolyási számnak nevezünk.

3. ábra. Kifolyási idő mérő tölcsér

A bányahomokok általában gömbölyűbb szemalakúak, mint a folyami homokok, ezért vakoláshoz a bányahomokok kedveltebbek. A *kavicsok* ❖ szemalakját nem tudjuk befolyásolni, ezért vizsgálni sem szokás. A *zúzottkavics* szemalakját ugyan úgy jellemezzük és vizsgáljuk, mint a zúzottkőét.

A *zúzottkövek* szemalakja az aprítógép megválasztásával (például röpítőtörő) és/vagy többszöri töréssel zömökebbé tehető. Az aszfalt- és a betonútépítők, de a zúzottkőbeton gyártók és felhasználók is első sorban a zömök alakú zúzottkövet keresik: egyrészt, mert az ilyen beton könnyebben bedolgozható, másrészt, mert kevésbé koptatja a gyártó és szállító berendezést, harmadrészt, mert a felület könnyebben eldolgozható, negyedrészt, mert a felület igénybevétele során a szemek kevésbé peregnek ki. A lemezes alakú zúzottkő adalékanyag növeli a beton cementigényét, és általában folyósítószer adagolást is szükségessé tesz. A zömök szemalak a beton nyomószilárdságát ❖, a lemezes szemalak a beton hajlító-húzószilárdságát ❖ javítja. A zömök szemalakú zúzottkő kevésbé aprózódik: Los Angeles aprózódási vesztesége kedvezőbb (kisebb), mint ugyan azon, de lemezes szemalakú zúzottkőé, ami a kőzetfizikai csoportba sorolás tekintetében is előnyös lehet.

Felhasznált irodalom:

Kausay Tibor: Az adalékanyag alakjának hatása a betonszilárdságra. A SZIKKTI 21. sz. tudományos közleménye. ÉTK. Budapest, 1967.

Kausay Tibor: A szemcsealak statikai szerepe a betonban. Építőanyag. XIX. évf. 1967. 3. szám. pp. 110-115.

Kausay Tibor: Összefüggés a zúzottkő- és kavicstermékek szemalakja és Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási vesztesége között. I. és II. Építőanyag. XXIII. évf.1971. 7. szám pp. 248–254. és 8. szám. pp. 288-297.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a

BETON

szakmai havilap

2005. május havi számának
12-13. oldalán

# Szemalak közvetett jellemzése tölcséres méréssel

**MSZ 18288-3:1978 szabvány 3. fejezet**

## A vizsgálat alapelve

**A tölcséres kifolyási idő az anyag viszkozitásával, a mozgással szembeni belső ellenállásával összefüggő jellemző, amely a 4 mm-nél kisebb szemnagyságú homokok, zúzottkövek szemalakjának közvetett mérésére is jól használható. A gömbölyű, zömök alakú szemek halmaza rövidebb idő alatt, a lemezes, hosszúkás, sarkos-éles alakú szemek halmaza hosszabb idő alatt folyik ki a tölcsérből.**

## Vizsgálati anyag

| Vizsgálati osztály mm | Próbahalmaz legkisebb mennyisége, g | Vizsgáló eszköz |
|---|---|---|
| 0,063 -0,125<br>0,125 - 0,25<br>0,25 - 0,5<br>0,5 - 1 | 500 | „A” jelű,<br>∅ 10 mm<br>nyílású tölcsér |
| 1 - 2<br>2 - 4 | 3000 | „B” jelű,<br>∅ 25 mm<br>nyílású tölcsér |

**A vizsgálati frakciókat vizes szitálással kell előállítani, majd a vizsgálatra kerülő anyagot ki kell szárítani.**

## Vizsgálati eredmény

**Mérjük a kifolyási időt másodpercben és kiszámítjuk a „K” kifolyási számot:**

$$K = \frac{t * \rho}{M} * 1000 = \frac{t * \frac{M}{V}}{M} * 1000 = \frac{t}{V} * 1000 \qquad \left[\frac{\text{sec}}{cm^3} * 1000 = \frac{\text{sec}}{dm^3}\right]$$

**ahol** **t = két mérés kifolyási idejeinek átlaga, s**

**ρ = a halmaz szemeinek testsűrűsége kiszárított állapotban, g/cm$^3$**

**M = a bemért anyag tömege, g**

**V = a szemek *testtérfogata*, cm$^3$**

**azaz a *K* kifolyási szám az 1 liter (1 dm$^3$) *testtérfogatú* anyag kifolyásához szükséges idő másodpercben.**

**Ha a stopper óra század beosztású, akkor az *x* század leolvasásból az *y* másodperc érték**

**számítása:** $100 \;/\; 60 = x \;/\; y$ $\qquad y = \dfrac{60 * x}{100} = 0,6 * x \qquad [sec]$

**például, ha a leolvasás x = 100, akkor annak értéke 0,6*100 = 60 másodperc.**

## Számpélda a nagy tölcsérrel való mérésre 1/4 mm szemnagyságú homok és bazalt zúzottkő esetén

| | Homok, $\rho = 2,65$ g/cm$^3$ | Zúzottkő, $\rho = 2,80$ g/cm$^3$ |
|---|---|---|
| (Leolvasás század beosztású stopper órával) és a kifolyási idő másodpercben, *t* | ( 24 )<br><br>14,4 sec | ( 30 )<br><br>18,0 sec |
| Kifolyási szám, *K* | 12,72 sec/dm$^3$ | 16,8 sec/dm$^3$ |

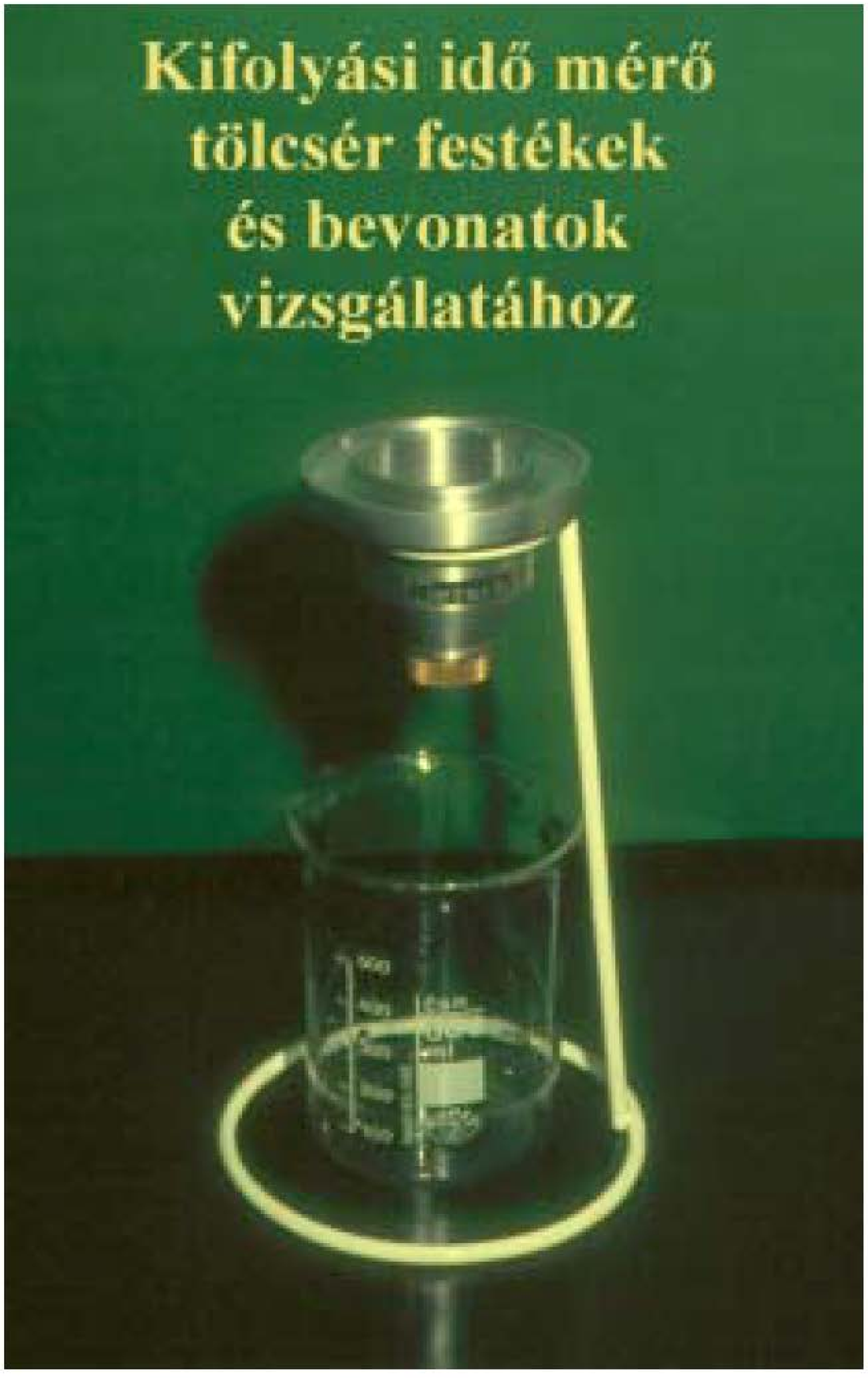
**Kifolyási tölcsérek a 4 mm-nél kisebb szemnagyságú szemhalmazok szemalakjának meghatározásához**

# További példák a kőanyaghalmazok tölcséres kifolyására

| "A" kis tölcsér, Φ 10 mm | | | |
|---|---|---|---|
| 0-1 mm homok | | 0-1 mm bazalt zúzottkő | |
| M [g] | 500 | M [g] | 500 |
| $\rho_h$ [g/cm$^3$] | 2,65 | $\rho_{zk}$ [g/cm$^3$] | 2,80 |
| t [sec] | 18,5 | t [sec] | 25,0 |
| **K [sec/dm$^3$]** | **98,1** | **K [sec/dm$^3$]** | **140,0** |

| "B" nagy tölcsér, Φ 25 mm | | | |
|---|---|---|---|
| 1-4 mm homok | | 1-4 mm bazalt zúzottkő | |
| M [g] | 3000 | M [g] | 3000 |
| $\rho_h$ [g/cm$^3$] | 2,65 | $\rho_{zk}$ [g/cm$^3$] | 2,80 |
| t [sec] | 15,0 | t [sec] | 16,5 |
| **K [sec/dm$^3$]** | **13,3** | **K [sec/dm$^3$]** | **15,4** |

A tölcséres kifolyási időt nemcsak a finom kőanyag halmazok szemalakjának, hanem például a kátrányok és a festékek folyósságának jellemzésére is használják:



| | | |
|---|---|---|
| | **Szemmegoszlás (szemeloszlás, szemszerkezet, szemcseméret eloszlás, szemcsenagyság összetétel)** | |

| | | |
|---|---|---|
| Németül: | Szemmegoszlás:<br>Szemmegoszlás vizsgálat:<br>Szemmegoszlási görbe: | Korngrößenverteilung,<br>Kornzusammensetzung<br>Siebverfahren (szitavizsgálat)<br>Sieblinie |
| Angolul: | Szemmegoszlás:<br>Szemmegoszlás vizsgálat:<br>Szemmegoszlási görbe: | Grading, particle size distribution<br>Granulometry, sieving method (szitavizsgálat)<br>Grading curve |
| Franciául: | Szemmegoszlás:<br>Szemmegoszlás vizsgálat:<br>Szemmegoszlási görbe: | Composition granulométrique, granularité<br>Granulométrie, analyse granulométrique<br>Courbe granulométrique |

A szemmegoszlás (szemeloszlás) a szemhalmazok (cementek ⁘, adalékanyagok ⁘, zúzottkövek ⁘, kőanyag és egyéb őrlemények stb.) fontos geometriai tulajdonsága, amely a szemnagyság szerinti összetétel kifejezője. Sokszor szemszerkezetnek is nevezik, valójában a szemmegoszlás a többi geometriai fogalommal, a szemalakkal ⁘ és a szemérdességgel együtt alkotja a szemszerkezetet.

A szemmegoszlás elméletileg valamely adott szemnagyságnál kisebb szemek tömegének az összes szem tömegéhez viszonyított hányadosa, a szemnagyságok összességére, tömegarányban (vagy tömeg%-ban) kifejezve, ha valamennyi szem testsűrűsége ⁘ azonos. Ha a szemek testsűrűsége nem azonos, akkor lévén geometriai fogalomról szó, a szemmegoszlást a szemek térfogat viszonyainak kifejezőjeként, térfogatarányban (vagy térfogat%-ban) kell értelmezni. Az elméleti fogalom a gyakorlat számára számos további fogalmi és eljárásbeli kérdés megfogalmazását teszi szükségessé.

A szemnagyságot a szabálytalan alakú, érdes felületű szemek idealizálásával, a helyettesítő, sima felületű gömb átmérőjével fejezzük ki. A szemnagyság meghatározása a szemek nagy számára tekintettel nem egyenként, hanem halmazos eljárással, szemmegoszlás vizsgálattal történik, ami valószínűségi folyamat, ezért eredménye a matematikai statisztika eszközeivel írható le. A szemnagyság meghatározás (szemmegoszlás vizsgálat) halmazos eljárása 0,063 mm szemnagyság felett a szitavizsgálat, 0,063 mm szemnagyság alatt az ülepítés. Gyakorlati értelemben a szemnagyság 0,063 mm felett annak a legkisebb négyzetes nyílású szitának a nyílása, amelyen a szem még áteshet, 0,063 mm alatt pedig az ülepítés eredményéből (a *Stokes* törvény felhasználásával) számított gömbátmérő [*Beke*, 1963.].

1. megjegyzés: 1972 óta az ipari gyakorlatban az osztályozásnál és a laboratóriumi szitavizsgálat során is valamennyi szita négyzetes nyílású (németül: Maschensieb és Quadratlochsieb). 1972 előtt a 3,0 mm-nél nagyobb lyukbőségű sziták nyílása köralakú (németül: Rundlochsieb) volt [Beton-Kalender 1972. II. kötet p. 6.]. Az átszámítás a kör átmérője ($\Phi$) és a megfelelő négyzet oldalhossza ($\square$) között: $0{,}8 \cdot \Phi = \square$. Általában a 3,0 mm-nél kisebb lyukbőségű, négyzetes nyílású sziták fémfonatosak (németül: Maschensieb), a 3,0 mm-nél nagyobb lyukbőségű, ugyancsak négyzetes nyílású sziták lyukasztott acél-, gumi-, műanyaglemezek (németül: Quadratlochsieb). A lyukasztott lemezeket sok esetben, de nem kizárólag, rostáknak is nevezik.

2. megjegyzés: Ha a szabálytalan alakú szemet olyan ellipszoiddal helyettesítjük, amelynek fő méretei „h" hosszúság > „s" szélesség > „v" vastagság, akkor ez az ellipszoid elméletileg az „s" nyílású szitán esik át, következésképpen a szemnagyság a szem „s" szélesség

méretének felel meg, és „d” betűvel jelölik. A legnagyobb szemnagyság ❖ jele: $d_{max}$, $D_{max}$, a legkisebbé $d_{min}$.

Az adalékanyag szemmegoszlás vizsgálatát szitálással az MSZ 18288-1:1991 nemzeti, illetve az MSZ EN 933-1:1998 európai, ülepítéssel az MSZ 18288-2:1984 nemzeti, illetve homokegyenérték módszerrel az MSZ EN 933-8:1999 európai, metilénkék módszerrel az MSZ EN 933-9:1999 európai szabvány szerint lehet elvégezni. A cementek őrlési finomságát az MSZ EN 196-6:1992 európai szabvány szerint kell meghatározni.

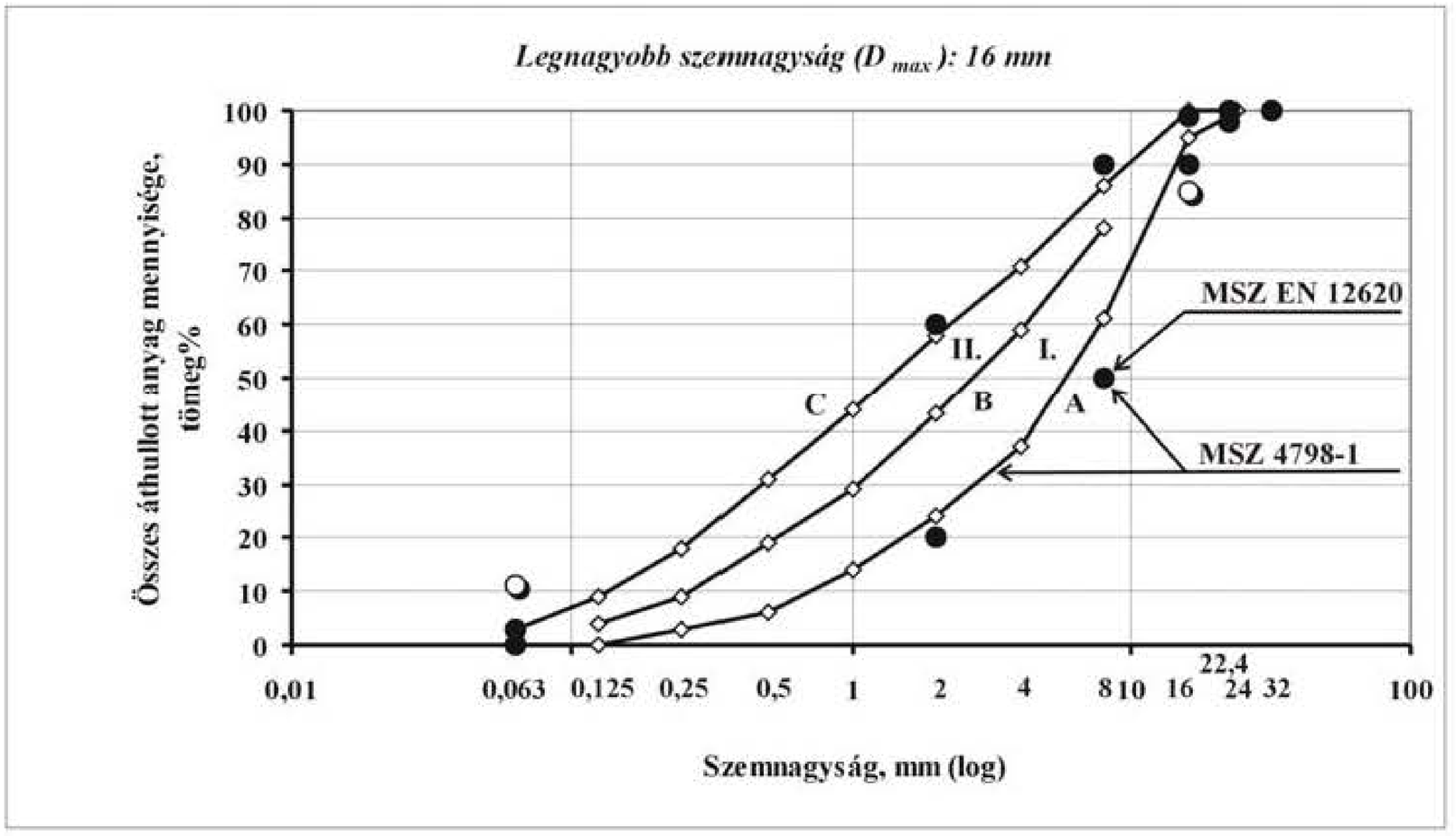
3. megjegyzés: A visszavont nemzeti szabványok irodalomként továbbra is használhatók és hivatkozhatók.

Az MSZ EN 933-1:1998 európai szabvány a szitavizsgálatot kiszárított, majd megmosott, azután újra kiszárított és lehűlt mintán végezteti el. A mosóvízzel eltávozott finomrész mennyiségét a mosás előtti és utáni tömegmérésből meg kell határozni, és hozzá kell adni a szitavizsgálat során a 0,063 mm nyílású szitán áthullott anyaghoz. Az alkalmazandó vizsgálószíták az MSZ EN 933-2:1998 európai szabvány szerint a 0,063 mm nyílású kezdő szitához tartozó, a *Tyler*-féle szitasorból kialakult „duplázódó” nyílású szíták sora, illetve az ISO 565:1990 nemzetközi szabvány R20 jelű szitasorozatából kiválasztott, egyébként szükséges szíták. Az R20 jelű szitasorozat nyílásai 0,063 mm és 125 mm között $10^{1/20} = 10^{0,05} = 1,122$ arányban, az MSZ 18288-1:1991 nemzeti és az MSZ EN 933-2:1998 európai szabványok „duplázódó” szitanyílásai $10^{lg2} = 10^{0,30103} = 10^{6,0206/20} \sim 10^{6/20} = (10^{1/20})^6 = 2$ arányban emelkednek, azaz az R20 jelű nemzetközi szitasorozat minden hatodik tagjával találkoznak (például: *0,063*; 0,071; 0,079; 0,089; 0,100; 0,112; *0,125* mm).

A szemmegoszlás vizsgálat eredménye a folytonos (nem szakadásos), tapasztalati szemmegoszlási görbe, amelynek független változója a szemnagyság, függő változója a szitanyíláson átesett összes szem tömegaránya vagy tömeg%-a (esetleg térfogataránya vagy térfogat%-a). A szemmegoszlási görbét célszerűen logaritmus beosztású, általában 0,063 mm szemnagyságnál kezdődő abszcisszatengely felett szokás (Magyarországon kell) ábrázolni. Ilyen ábrázolásmód mellett a duplázódó szitanyílások az abszcisszatengelyen log2 távolságra esnek egymástól. A szemmegoszlás lehet folytonos (a görbe érintője legfeljebb csak a $d_{min}$ és $d_{max}$ helyen vízszintes), lehet közel egyszemű és lehet szemhiányos, amit lépcsősnek is neveznek. A lépcsők megengedett száma általában egy, legfeljebb kettő, hosszuk log2, esetleg 2•lg2 lehet, és értelemszerűen a szemtartomány második negyedében (például 16 mm legnagyobb szemnagyság esetén 4-8 mm, esetleg 2-8 mm) között kell elhelyezkedniük.

4. megjegyzés: A lépcsős szemmegoszlással készült betonokat hazánkban először *Mihailich Győző* műegyetemi tanár vizsgálta 1941-ben. Megállapította, hogy a lépcsős szemmegoszlású adalékanyagok gyakran épp oly jók beton készítésre, mint a folytonos szemmegoszlásúak.

A nemzeti és európai betonadalékanyag termékszabványok illetve az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma (NAD, amely az MSZ 4798-1:2004 számot viseli) szerint a szemmegoszlási görbéknek lényegében a legnagyobb halmaztömörségek tartományát határoló határgörbék illetve a határértékek között kell futniuk, de ebben a tekintetben szerepe van a finomsági modulusnak ❖ is. A határgörbék és a határértékek abszcissza pontjait a szabványos szitasorozatok tagjainak szitanyílásai adják. A homok, homokos kavics és kavics termékek régi MSZ 18293-1979 nemzeti szabvány szerinti „duplázódó” szitasora és az európai betonadalékanyag ❖ termékszabvány (MSZ EN 12620:2003), valamint az új nemzeti beton ❖ szabvány (MSZ 4798-1:2004) „duplázódó” szitasorai között nincs lényeges különbség, ezért a nemzeti homok, homokos kavics és kavics határgörbék könnyen illeszthetők az európai szemmegoszlási határértékek közé (*1. ábra*).




1. ábra. Betonadalékanyag szemmegoszlási határgörbék és határértékek

A zúzottkövek tekintetében a beton- és aszfalttechnológia eltéréseiből kifolyólag kissé más a helyzet. A beton és az aszfalt technológia egyik különbségét az adja, hogy míg a beton- és vasbetonszerkezet eleme általában egy rétegben készül és keresztmetszetében homogén, addig az aszfaltútburkolat általában többrétegű, különböző legnagyobb szemnagyságú aszfaltrétegek egymásra építésével készül, így keresztmetszetében nem homogén. Az aszfaltrétegek illetve frakcióiknak hazai szemnagysághatárai, és az ezekhez igazodó zúzottkő frakcióhatárok (ÚT 2-3.601:2005) ezért nem mindenhol egyeznek meg a betontechnológia „duplázódó" frakcióhatáraival. A zúzottkőbeton ❖ készítése során erre a különbségre, amíg fennáll, figyelemmel kell lenni. Meg kell jegyezni, hogy az útbetonokra külön európai szabvány kiadása várható.

A tapasztalati szemmegoszlási görbe az elméleti eloszlás görbe közelítése. Az elméleti eloszlás görbe függvény alakjának felírásával és a szemeloszlás jellemzők analitikus számításával sokan foglalkoztak. Elsőként *Gates* 1915-ben, majd ezt követően a legnevesebbek, *Gaudin* 1926ban, *Rosin*, *Rammler* és *Sperling* 1933-ban, *Bennett* 1936-ban, *Schuhmann* 1940-ben, *Kolmogorov* 1941-ben, *Rényi* 1950-ben, *Fáy* és *Zselev* 1961-ben publikálták az őrlemények szemeloszlására vonatkozó elméletüket. Ezek az elméletek egymástól nem függetlenek. A *Fáy-Zselev*-féle renormált lognormális eloszlás a *Kolmogorov* és *Rényi* által alkalmazott lognormális eloszlásból redukciós tényezővel számítható. A lognormális eloszlást a normális eloszlásból lehet a független változó transzformációjával előállítani. A normális eloszlás és a *Rosin-Rammler* eloszlás egyaránt az *e*-alapú exponenciális függvény származéka, amiből kapcsolatuk kimutatható. A *Rosin-Rammler* eloszlás sorba fejtett alakjának első tagja a *Schuhmann* eloszlást szolgáltatja. Ezek az elméletek többnyire a cement, a szénpor stb. aprításával kapcsolatosak, így többségükben a finomszemek tartományára vonatkoznak, (de például *Rényi Alfréd* egyetemi tanár elméletéhez *Lázár Jenő* okl. villamos mérnök kőtörési kísérletei szolgáltatták az adatokat), következésképpen a beton- és az aszfaltépítésben kevéssé terjedtek el, mégis az adalékanyagok szemmegoszlás jellemzői ❖ számításának alapját adják [*Kausay*, 1975.].

A betontervezés ❖ folyamatához hozzátartozik a legkedvezőbb - a legnagyobb halmaztömörségű illetve legkisebb hézagtérfogatú - szemmegoszlás keresése. *Fuller* 1907-ben központi elhelyezkedésű másodfokú parabola alakjában írta fel a legtömörebb adalékanyag szemmegoszlás függvényét. Más alakú görbéket javasolt többek között *Bolomey* 1926-ban, *Palotás* 1936-ban, *Graf* 1950-ben [*Palotás*, 1980.]. Az újabb kutatási

eredmények a betonadalékanyag víz- és pépigényének meghatározását teszik lehetővé a szemmegoszlás függvényében [*Ujhelyi*, 1995].

A szemmegoszlás tervezés ❖ a szemmegoszlási görbe számszerűsítését teszi szükségessé. Ilyen számok a szemmegoszlás jellemzők ❖, és azok legfontosabbika, a finomsági modulus ❖.

Felhasznált irodalom:


Beke Béla: Aprításelmélet. Szilikátkémiai monográfiák IV. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.

Beton-Kalender 1972. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin-München-Düsseldorf, 1972.

Palotás László - Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Beton - habarcs - kerámia - műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Kausay Tibor: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle. XXV. évf. 1975. 4. szám. p. 155-164.

Ujhelyi János: Beton és vasbeton készítése (MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás)

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ 18288-1:1991 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. A szemmegoszlás vizsgálata szitálással (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)

MSZ 18288-2:1984 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata ülepítéssel (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)

MSZ EN 933-1:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat

MSZ EN 933-2:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Vizsgálószíták, a szitanyílások névleges mérete

MSZ EN 933-8:1999 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 8. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Homokegyenérték-módszer

MSZ EN 933-9:1999 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 9. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Metilénkék módszer

MSZ EN 196-6:1992 Cementvizsgálati módszerek. 6. rész: Az őrlési finomság meghatározása

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség

MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz

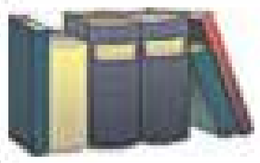
ISO 565:1990 Test sieves. Woven metal wire cloth, perforated plate and electroformed sheel. Nominal size of openings

ÚT 2-3.601:2005 Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok


Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Megjelent a | BETON<br>szakmai havilap | 2004. május havi számának<br>8-10. oldalán |

## Szemmegoszlás tervezés, javítás



| | |
|---|---|
| Németül: | Bestimmung, Verbesserung der Korngrößenverteilung |
| Angolul: | Mix desing, correcting of grading |
| Franciául: | Planification, correction de granularité |

Azt a műveletet, amellyel két vagy több adalékanyag ❖ szemhalmazból (frakcióból) például szemmegoszlási határgörbék közötti szemmegoszlású szemhalmaz keveréket állítanak elő, szemmegoszlás ❖ tervezésnek vagy javításnak nevezik.

A szemmegoszlás tervezés során arra keresik a választ, hogy az ismert finomsági modulusú ❖ frakciókat milyen tömegarányban (esetleg térfogatarányban) kell összekeverni úgy, hogy a keverék finomsági modulusa a tervezett értéket adja. A szemmegoszlás javítás során az a kérdés, hogy a kedvezőtlen vagy nem megfelelő szemmegoszlási görbéjű vagy finomsági modulusú adalékanyag szemhalmazhoz milyen szemmegoszlású javító frakciót és milyen arányban kell keverni ahhoz, hogy a javítás a kívánt eredményt adja.

Ha például három szemhalmazt (frakciót) kell összekeverni, és $m_1$, $m_2$, $m_3$ a három összekeverendő frakció, $m_t$ a tervezett szemhalmaz ismert finomsági modulusa és $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ az összekeverendő frakciók keresett keverési részaránya, akkor — abból a meggondolásból, hogy a frakciók finomsági modulusa a tervezett keverékben részarányuk arányában érvényesül — a következő egyenlőségeket lehet felírni:

$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 + \gamma \cdot m_3 = m_t$$

$$\text{és } \alpha + \beta + \gamma = 1$$

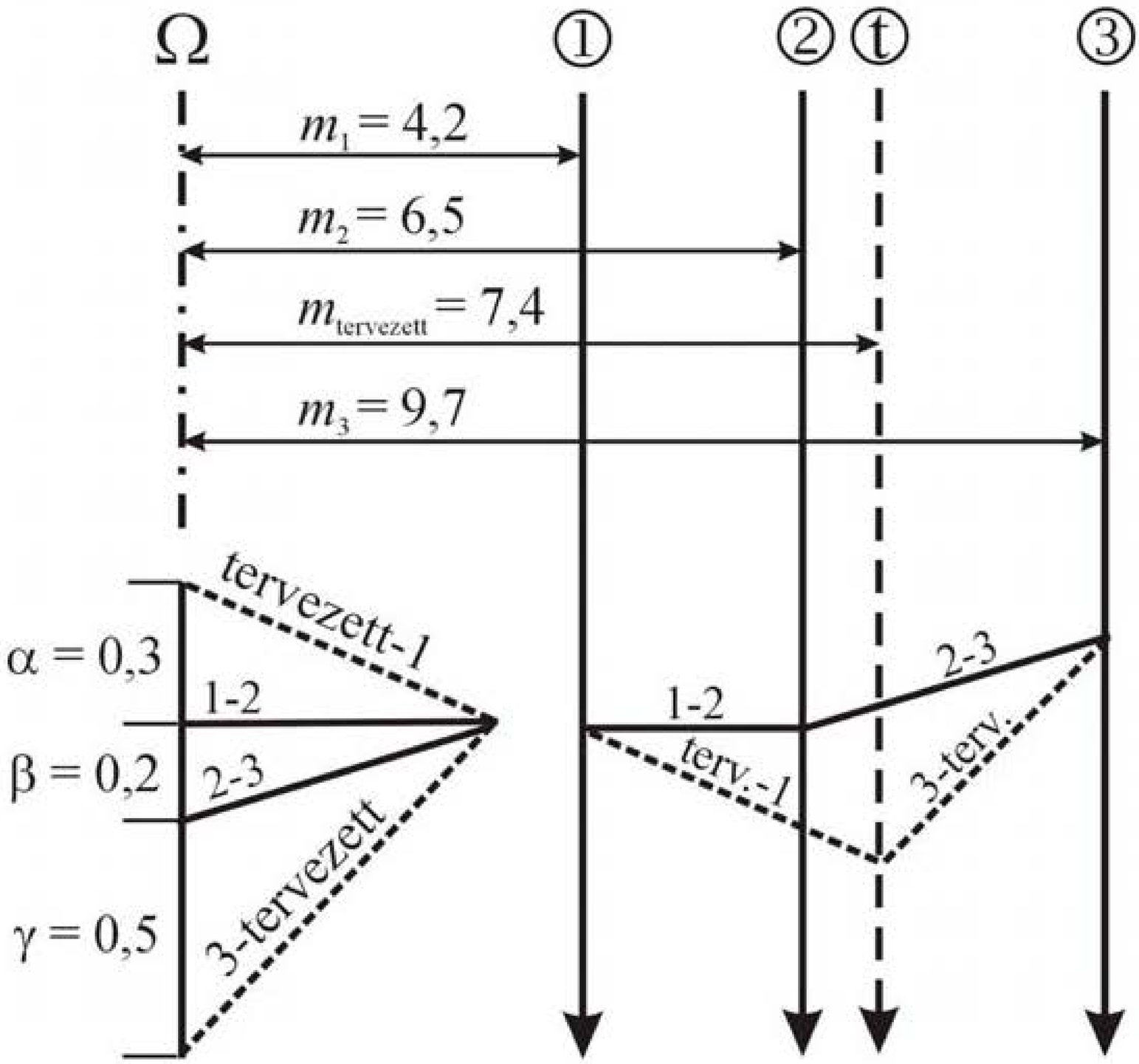
Ebben az egyenletrendszerben három ismeretlen ($\alpha$, $\beta$, $\gamma$), de csak két egyenlet van. Ilyen esetben

- vagy be kell vezetni még egy szemmegoszlási jellemzőt, például a fajlagos felületet ❖ ($f_1$, $f_2$, $f_3$, $f_t$), és akkor még egy egyenletet fel lehet írni ($\alpha \cdot f_1 + \beta \cdot f_2 + \gamma \cdot f_3 = f_t$), miáltal az egyenletrendszer megoldhatóvá válik;

- vagy a három összekeverendő frakcióból valamely kettőt külön össze kell keverni egy frakcióvá, illetve a három összekeverendő frakció valamelyikének keverési arányát (például a $\gamma$-t) célszerű szempontok szerint előre fel kell venni, miáltal a feladat két ismert jobb oldalú egyenletből álló egyenletrendszer megoldására egyszerűsödik:

$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 = m_t - \gamma \cdot m_3 \quad \text{és} \quad \alpha + \beta = 1 - \gamma$$

*Badian* 1933-ban két, majd 1938-ban több frakció esetére mutat be szemmegoszlás tervezési módszert kötélsokszög szerkesztés alkalmazásával (*1. ábra*).




$$\alpha * m_1 + \beta * m_2 + \gamma * m_3 = m_{tervezett}$$

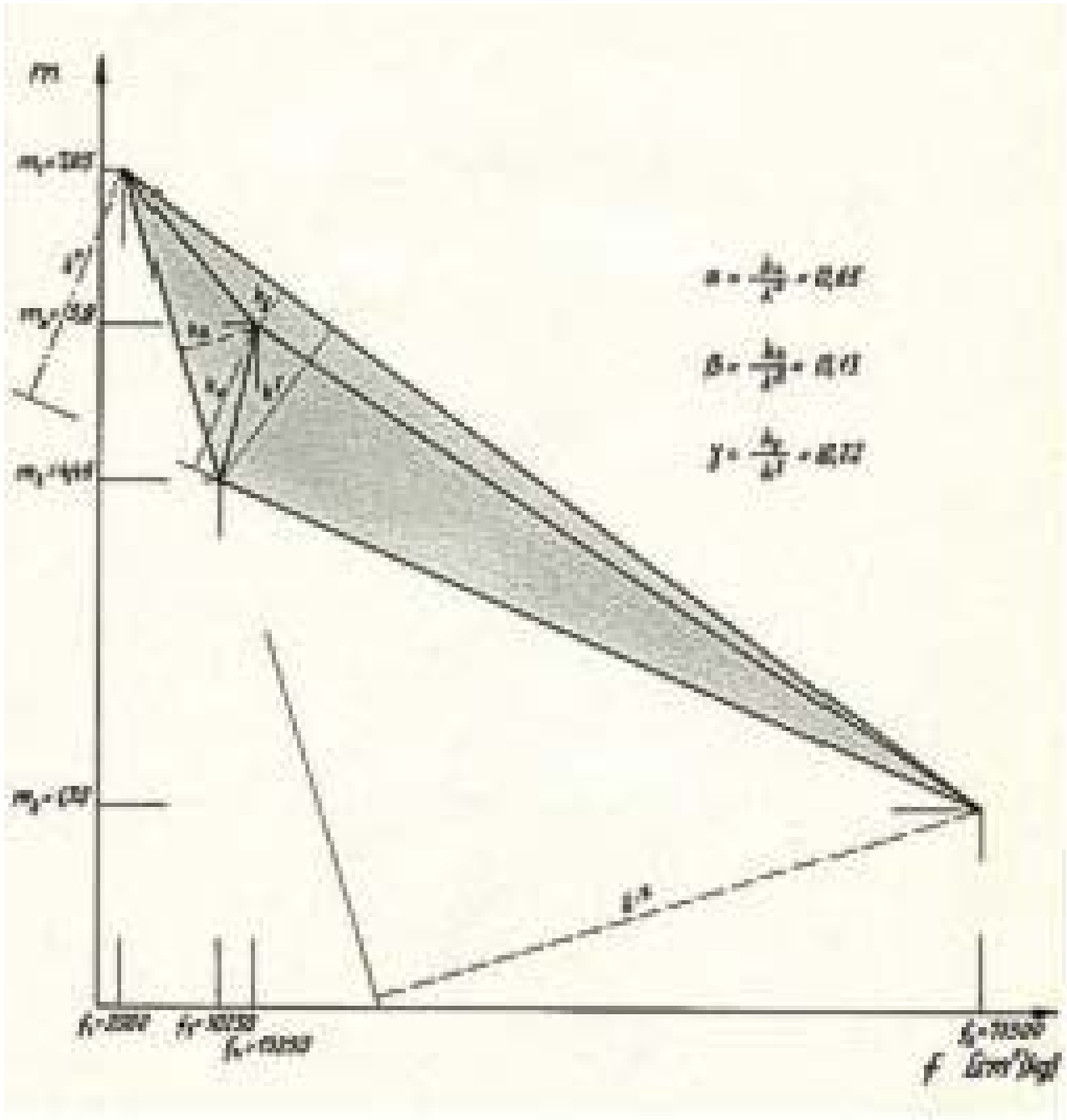
$$\alpha + \beta + \gamma = 1,0$$

ahol α, β, γ = a frakciók tömegaránya

$m$ = a finomsági modulus

1. ábra. Szemmegoszlás tervezés három frakcióból *Badian* szerint

Három frakció esetén a feladat derékszögű koordináta rendszerben ábrázolt általános háromszöggel oldható meg. A háromszög csúcsait a frakciók ábrázolópontjai adják, és a feladatnak akkor van megoldása, ha a tervezett keverék ábrázolópontja a háromszögön belül fekszik. Valamely frakció részarányát megkapjuk, ha a tervezett keverék és a frakció ábrázolópontjából ez utóbbival szemben fekvő háromszög-oldalra bocsátott merőleges távolságok hányadosát képezzük. A feladat statikai megfelelője: ismert nagyságú és hatásvonalú eredőerő felbontása három ismert hatásvonalú, párhuzamos, térbeli erőre szerkesztéssel, amelyre a *2. ábrán* látható példa. Ha az általános háromszöget egyenlő oldalú háromszöggé transzformáljuk, akkor a *Descartes*-féle háromszög-ábra áll elő.



2. ábra. Példa megoldás általános háromszöggel

A továbbiakban az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy $\gamma = 0$, azaz az összekeverendő frakciók száma csak kettő, vagy eredetileg is csak kettő volt, és a megoldandó egyenletrendszer:

$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 = m_t \quad \text{és} \quad \alpha + \beta = 1$$

a megoldás pedig:

$$\alpha = \frac{m_2 - m_t}{m_2 - m_1} \quad \text{és} \quad \beta = 1 - \alpha$$

Két frakcióból történő keverék összeállítására az *1. táblázatban* és a *3. ábrán* mutatunk be példát. A példában az $m_1 = 6{,}37$ finomsági modulusú ❖ és $d_{max\,1} =$ $= 32$ mm legnagyobb szemnagyságú ❖ homokos kavicsot ❖ úgy javítjuk meg az $m_2 = 8{,}60$ finomsági modulusú és $d_{max\,2} = 40$ mm legnagyobb szemnagyságú kaviccsal ❖, hogy az új homokos kavics keverék finomsági modulusa $m_t = 7{,}20$ lesz, miközben legnagyobb szemnagyságára $d_{max\,t} = 40$ mm adódik. A megoldás szerint — a finomsági modulusra tett feltétel teljesüléséhez — az eredeti homokos kavicsot és a javító kavicsot 0,628:0,372 tömegarányban kell összekeverni.

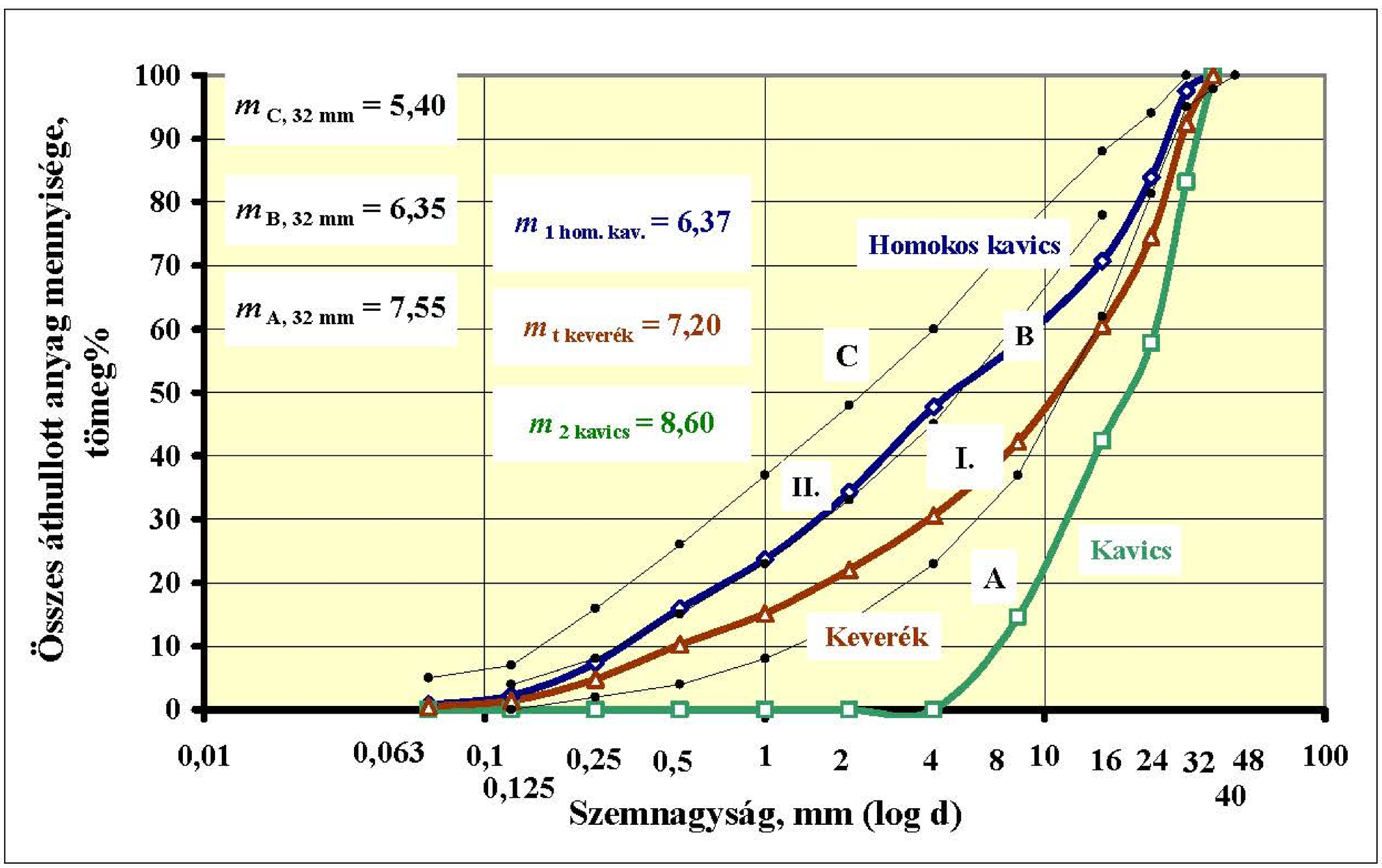
| Szem-nagyság | Homokos kavics | | | | Kavics | | | | Keverék |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fennmaradt anyag | | Σ fennmar. | Σ áthull. | Fennmaradt anyag | | Σ fennmar. | Σ áthull. | Σ áthull. |
| mm | g | m% | m% | m% | g | m% | m% | m% | m% |
| 32 | 200 | 2,01 | 2,01 | 97,99 | 1654 | 16,75 | 16,75 | 83,25 | 92,51 |
| 24 | 360 | 3,62 | 5,64 | 94,36 | 2517 | 25,48 | 42,23 | 57,77 | 80,75 |
| 16 | 400 | 4,03 | 9,66 | 90,34 | 1518 | 15,37 | 57,60 | 42,40 | 72,51 |
| 8 | 2545 | 25,61 | 35,27 | 64,73 | 2751 | 27,85 | 85,45 | 14,55 | 46,06 |
| 4 | 2120 | 21,33 | 56,61 | 43,39 | 1437 | 14,55 | 100 | 0 | 27,25 |
| 2 | 1250 | 12,58 | 69,19 | 30,81 | 0 | 0 | 100 | 0 | 19,35 |
| 1 | 678 | 6,82 | 76,01 | 23,99 | 0 | 0 | 100 | 0 | 15,07 |
| 0,5 | 1592 | 16,02 | 92,03 | 7,97 | 0 | 0 | 100 | 0 | 5,01 |
| 0,25 | 520 | 5,23 | 97,26 | 2,74 | 0 | 0 | 100 | 0 | 1,72 |
| 0,125 | 227 | 2,28 | 99,55 | 0,45 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0,28 |
| 0,063 | 25 | 0,25 | 99,80 | 0,20 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0,13 |
| 0 | 20 | 0,20 | 100,00 | 0,00 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Összesen: | 9937 | $m_1 = 6,37$ | | Összesen: | 9877 | | $m_2 = 8,60$ | | $m_t = 7,20$ |
| Megjegyzés: | | finomsági modulus | | | | | finomsági modulus | | |

A 24 mm és a 0 mm szemnagysághoz tartozó összes fennmaradt anyagot a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.

$$\alpha = \frac{m_2 - m_t}{m_2 - m_1} = \frac{8,6 - 7,2}{8,6 - 6,37} = 0,628$$

$$\beta = 1 - \alpha = 0,372$$

1. táblázat. Példa a szemmegoszlás javítására




3. ábra. Az *1. táblázat* szerinti példa szemmegoszlási görbéi

Felhasznált irodalom:


Badian, A.: Graphische Ermittlung der Anteile von Kiesen mit bekannten Siebkurven im Zuschlag mit gewünschten Feinheitsgrad. Beton und Eisen. Jg. 37. 1938. H. 11. p. 191-192.

Popovics Sándor: A betonadalék szemszerkezetjavítására vonatkozó számítások háromszög-koordinátarendszerben. ÉTI Tudományos Közlemények. ÉM Dokumentációs és Nyomtatványellátó Vállalat. Budapest, 1956.

Kausay Tibor: Betontervezés és szemszerkezet (értsd: szemmegoszlás) javítás nomogrammal. Mélyépítéstudományi Szemle. XV. évf. 1965. 1. szám. p. 42-44.

Kausay Tibor: Szemszerkezet (értsd: szemmegoszlás) javításának megtervezése grafikus úton. Mélyépítéstudományi Szemle. XVIII. évf. 1968. 3. szám. p. 127-130.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Megjelent a | BETON szakmai havilap | 2004. november havi számának 12-13. oldalán |

**Beton és habarcs adalékanyagok szemmegoszlási (szemeloszlási) határgörbéi**

A következő címekre kattintva lehet a vonatkozó szemmegoszlási határgörbék ábráját és ordináta értékeik adatsorát megtekinteni.

Legnagyobb szemnagyság: 1 mm

Legnagyobb szemnagyság: 2 mm

Legnagyobb szemnagyság: 4 mm

Legnagyobb szemnagyság: 8 mm

Legnagyobb szemnagyság: 12 mm

Legnagyobb szemnagyság: 16 mm

Legnagyobb szemnagyság: 20 mm

Legnagyobb szemnagyság: 24 mm

Legnagyobb szemnagyság: 32 mm

Legnagyobb szemnagyság: 40 mm

Legnagyobb szemnagyság: 48 mm

Legnagyobb szemnagyság: 63 mm

Hivatkozások:


- MSZ 18293:1979 Homok, homokos kavics és kavics
- MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás 3. fejezet. Beton és vasbeton készítése. A beton alapanyagai
- MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma

- MSZ EN 12620:2003 Adalékanyagok (kőanyaghalmazok) betonhoz
- MSZ EN 13139:2003 Adalékanyagok (kőanyaghalmazok) habarcshoz

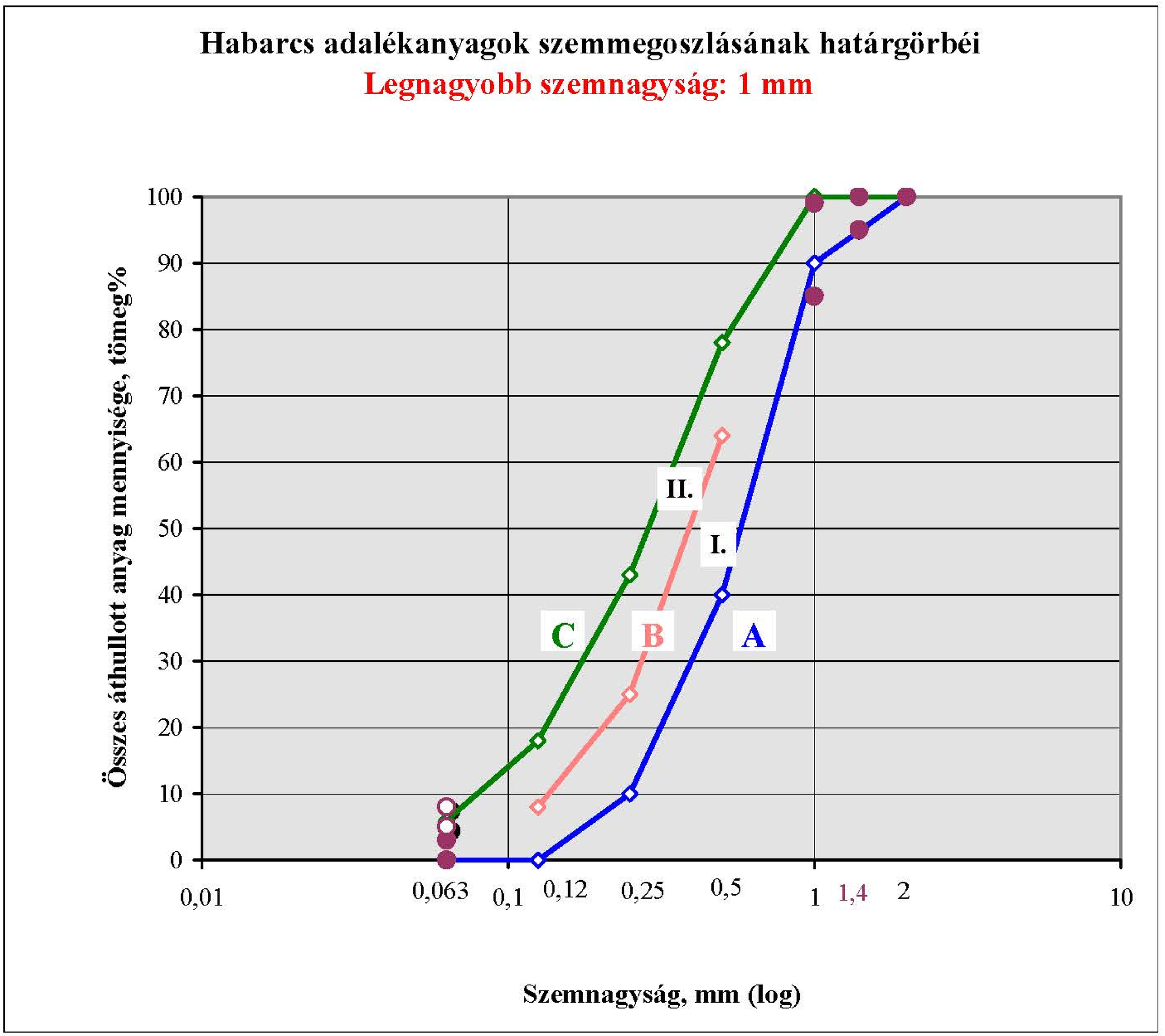
A zúzottkő és a zúzottkavics termékek szemmegoszlási határgörbéit ide kattintva tekintheti meg.

# Habarcs adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 1 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 18293:1979 (származtatott) | | | MSZ EN 13139:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Leg-alább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 6 | 0 | 3 | 5 | 8 | | |
| 0,125 | 0 | 8 | 18 | | | | | | |
| 0,25 | 10 | 25 | 43 | | | | | | |
| 0,5 | 40 | 64 | 78 | | | | | | |
| 1 | 90 | | 100 | 85 | | 99 | | | *D* |
| | | | | 95 | | 100 | | 1,4 | *1,4 . D* |
| 2 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | | Kategória jele | | | | |
| | 3,60 | 3,05 | 2,55 | | *1* | *2* | *3* | | |

**Megjegyzés: Az MSZ EN 13139:2003 szabvány szerint a zúzott adalékanyagú falazóhabarcsok 0,063 mm alatti szemeinek mennyisége a 30 tömeg%-ot is elérheti (*4* jelű kategória), illetve azt esetleg meg is haladhatja (*5* jelű kategória).**



# Habarcs adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

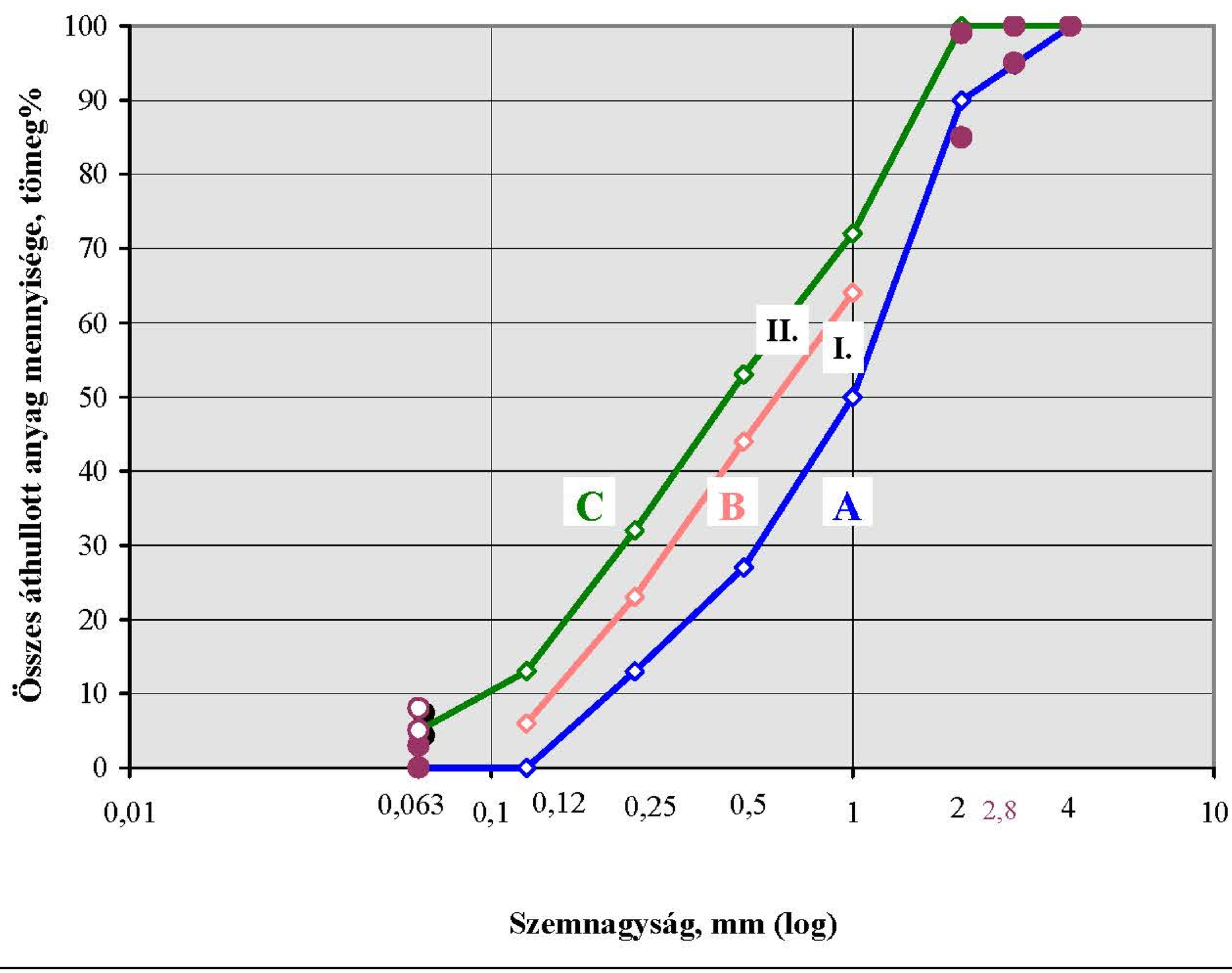
## Legnagyobb szemnagyság: 2 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 18293:1979 (módosított) | | | MSZ EN 13139:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Leg-alább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 5 | 0 | 3 | 5 | 8 | | |
| 0,125 | 0 | 6 | 13 | | | | | | |
| 0,25 | 13 | 23 | 32 | | | | | | |
| 0,5 | 27 | 44 | 53 | | | | | | |
| 1 | 50 | 64 | 72 | | | | | | |
| 2 | 90 | | 100 | 85 | | 99 | | | *D* |
| | | | | 95 | | 100 | | 2,8 | *1,4 . D* |
| 4 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | | Kategória jele | | | | |
| | 4,20 | 3,65 | 3,25 | | *1* | *2* | *3* | | |

**Megjegyzés: Az MSZ EN 13139:2003 szabvány szerint a zúzott adalékanyagú falazóhabarcsok 0,063 mm alatti szemeinek mennyisége a 30 tömeg%-ot is elérheti (*4* jelű kategória).**

Habarcs adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

Legnagyobb szemnagyság: 2 mm

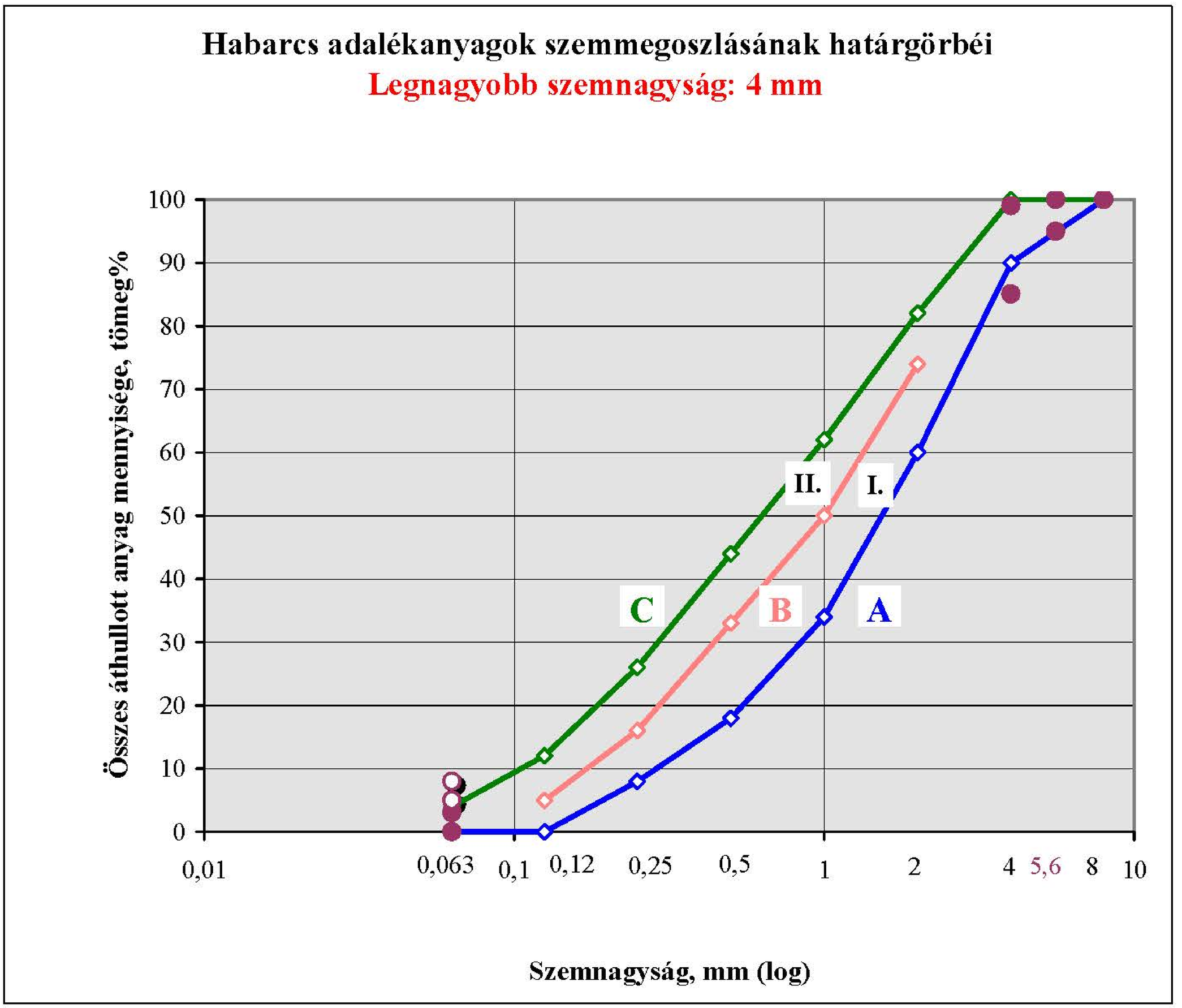


# Habarcs adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 4 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 18293:1979 (módosított) | | | MSZ EN 13139:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Leg-alább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 4 | 0 | 3 | 5 | 8 | | |
| 0,125 | 0 | 5 | 12 | | | | | | |
| 0,25 | 8 | 16 | 26 | | | | | | |
| 0,5 | 18 | 33 | 44 | | | | | | |
| 1 | 34 | 50 | 62 | | | | | | |
| 2 | 60 | 74 | 82 | | | | | | |
| 4 | 90 | | 100 | 85 | | 99 | | | *D* |
| | | | | 95 | | 100 | | 5,6 | *1,4 . D* |
| 8 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | | Kategória jele | | | | |
| | 4,90 | 4,25 | 3,70 | | *1* | *2* | *3* | | |

**Megjegyzés: Az MSZ EN 13139:2003 szabvány szerint a zúzott adalékanyagú falazóhabarcsok 0,063 mm alatti szemeinek mennyisége a 30 tömeg%-ot is elérheti (*4* jelű kategória).**

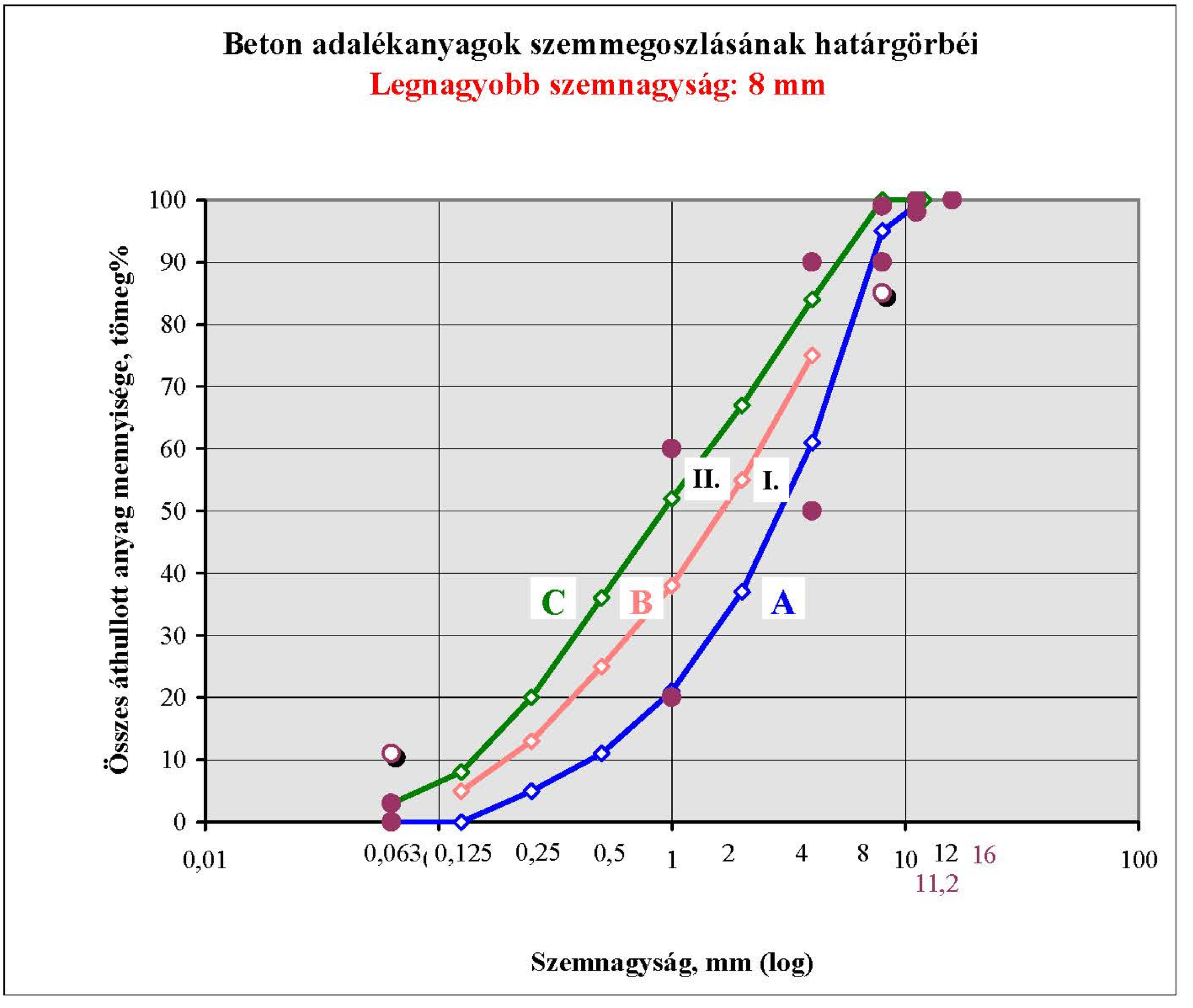


# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 8 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | | Legfeljebb | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | | 3 | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 5 | 8 | | | | | | |
| 0,25 | 5 | 13 | 20 | | | | | | |
| 0,5 | 11 | 25 | 36 | | | | | | |
| 1 | 21 | 38 | 52 | 20 | | 60 | | | *(D/8)* |
| 2 | 37 | 55 | 67 | | | | | | |
| 4 | 61 | 75 | 84 | 50 | | 90 | | | *D/2* |
| 8 | 95 | | 100 | 90 | 85 | 99 | | | *D* |
| | | | | 98 | | 100 | | 11,2 | *1,4 . D* |
| 12 | 100 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 100 | | 100 | | 16,0 | *2 . D* |

| Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,70 | 4,90 | 4,30 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ |

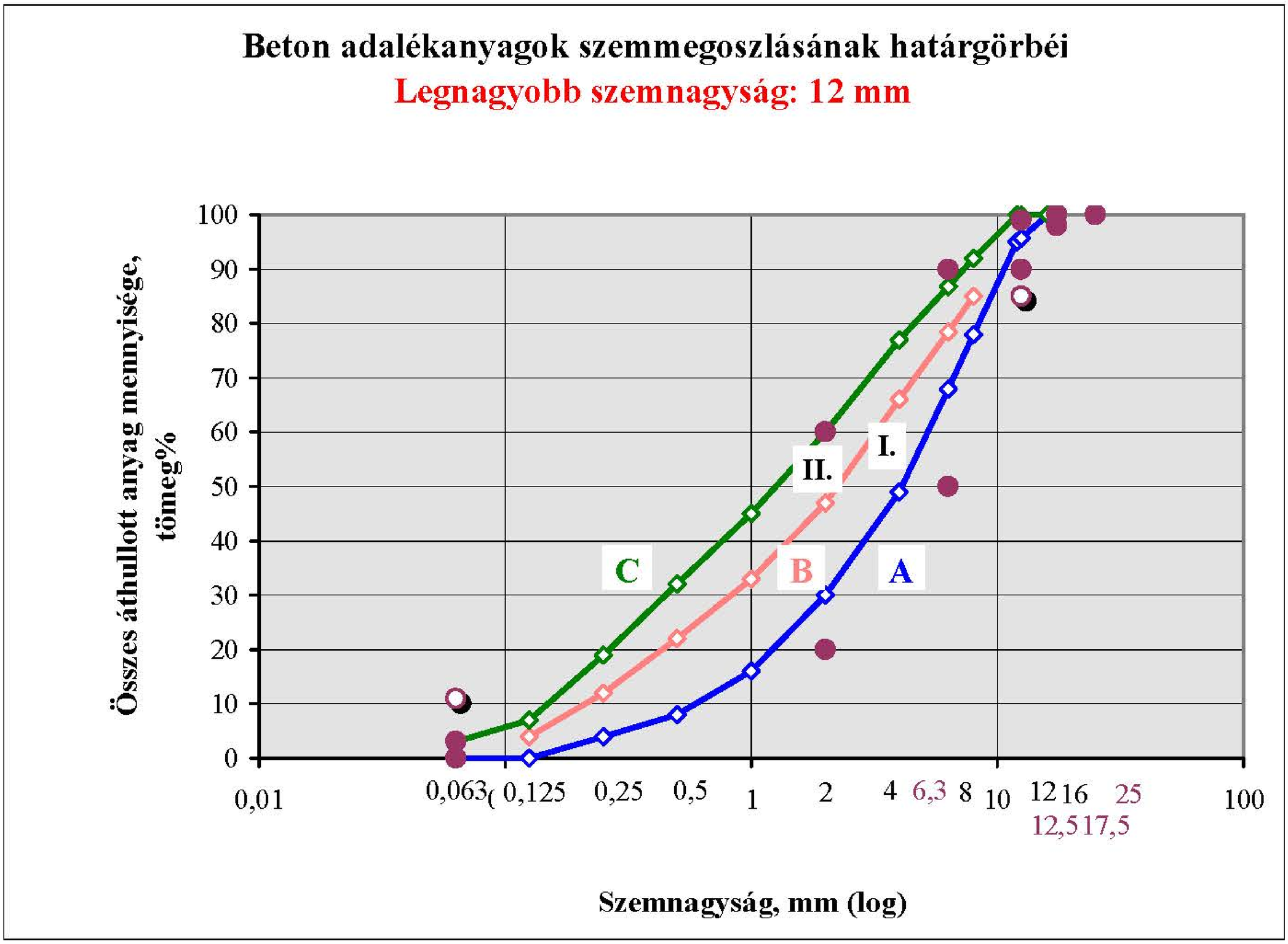


# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 12 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | 3 | 11 | | | *f* |
| 0,125 | 0 | 4 | 7 | | | | | | |
| 0,25 | 4 | 12 | 19 | | | | | | |
| 0,5 | 8 | 22 | 32 | | | | | | |
| 1 | 16 | 33 | 45 | | | | | | |
| 2 | 30 | 47 | 60 | 20 | 60 | | | | *(D/6,25)* |
| 4 | 49 | 66 | 77 | | | | | | |
| | | | | 50 | 90 | | | 6,3 | *D/2* |
| 8 | 78 | 85 | 92 | | | | | | |
| 12 | 95 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 90 | 85 | 99 | | 12,5 | *D* |
| 16 | 100 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 98 | | 100 | | 17,5 | *1,4 . D* |
| | | | | 100 | | 100 | | 25,0 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | | |
| | 6,15 | 5,30 | 4,65 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | | |

**Megjegyzés: Az ordináta-értéket a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.**



# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

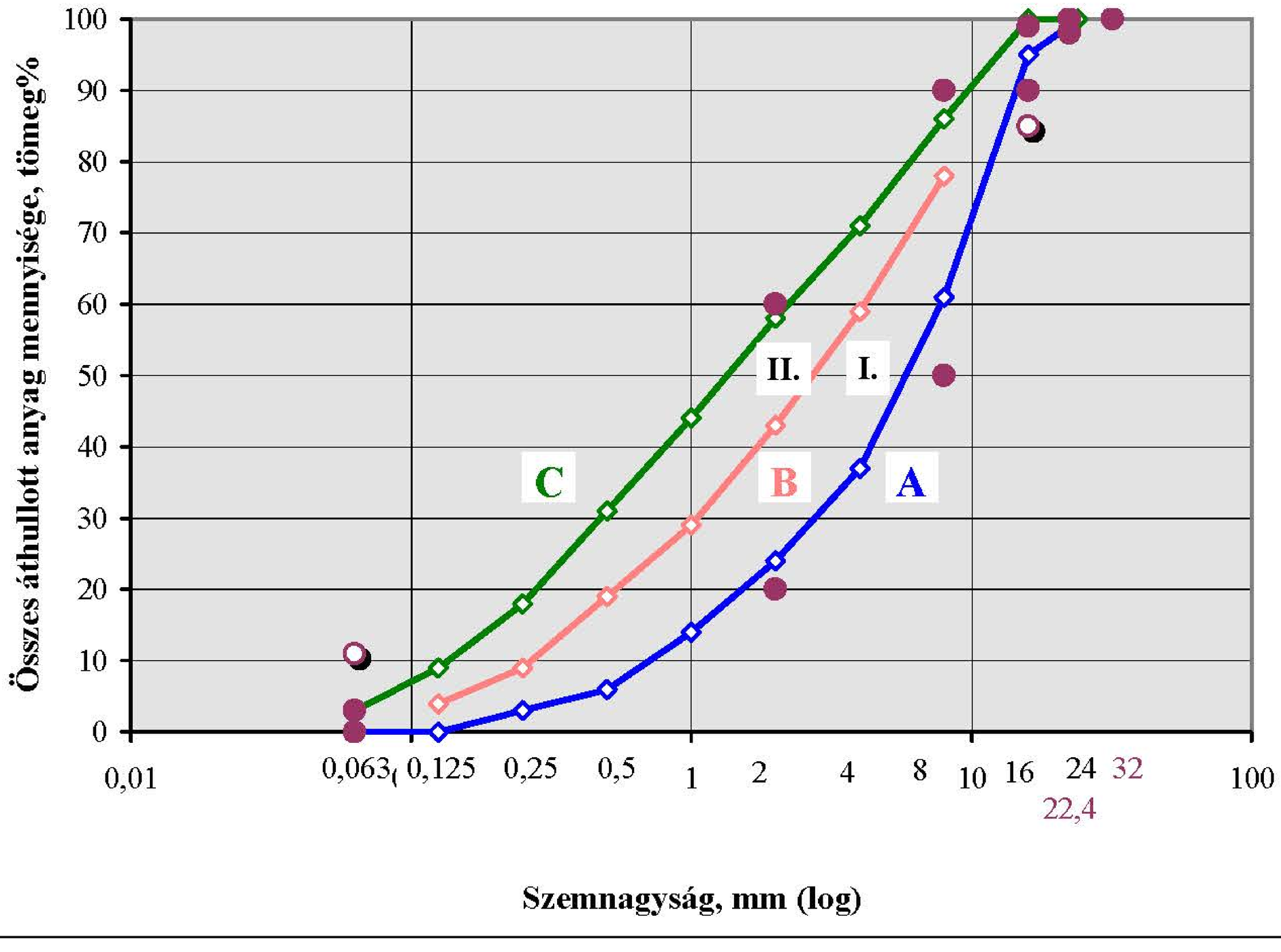
## Legnagyobb szemnagyság: 16 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | | Legfeljebb | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | | 3 | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 4 | 9 | | | | | | |
| 0,25 | 3 | 9 | 18 | | | | | | |
| 0,5 | 6 | 19 | 31 | | | | | | |
| 1 | 14 | 29 | 44 | | | | | | |
| 2 | 24 | 43 | 58 | 20 | | 60 | | | *(D/8)* |
| 4 | 37 | 59 | 71 | | | | | | |
| 8 | 61 | 78 | 86 | 50 | | 90 | | | *D/2* |
| 16 | 95 | | 100 | 90 | 85 | 99 | | | *D* |
| | | | | 98 | | 100 | | 22,4 | *1,4 . D* |
| 24 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | | 32,0 | *2 . D* |

| Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6,60 | 5,60 | 4,80 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ |

## Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 16 mm

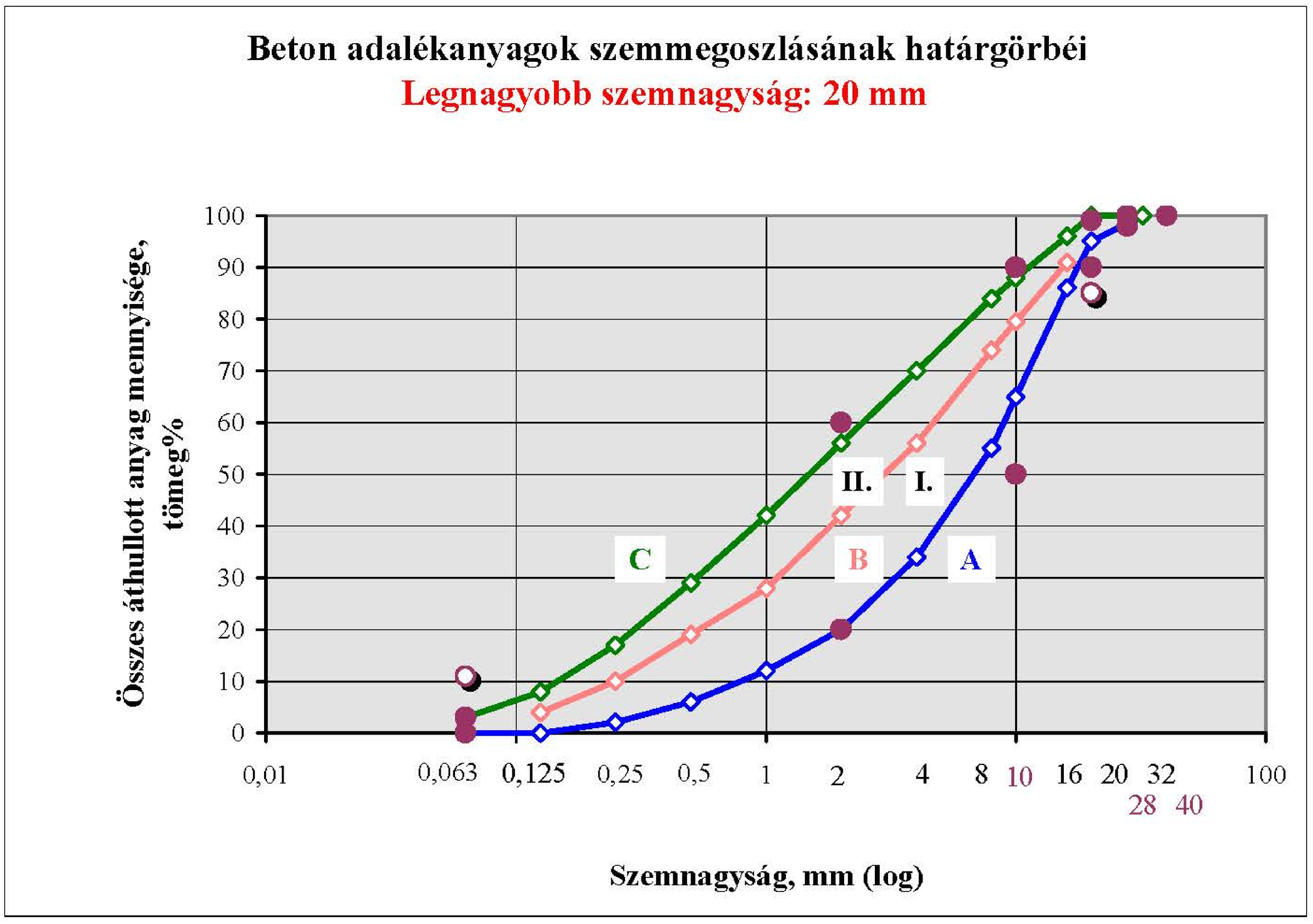


# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 20 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | 3 | | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 4 | 8 | | | | | | |
| 0,25 | 2 | 10 | 17 | | | | | | |
| 0,5 | 6 | 19 | 29 | | | | | | |
| 1 | 12 | 28 | 42 | | | | | | |
| 2 | 20 | 42 | 56 | 20 | 60 | | | | *(D/10)* |
| 4 | 34 | 56 | 70 | | | | | | |
| 8 | 55 | 74 | 84 | | | | | | |
| | | | | 50 | 90 | | | 10,0 | *D/2* |
| 16 | 86 | 91 | 96 | | | | | | |
| 20 | 95 | | 100 | 90 | 85 | 99 | | | *D* |
| | | | | 98 | | 100 | | 28,0 | *1,4 . D* |
| 32 | 100 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 100 | | 100 | | 40,0 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | | |
| | 6,85 | 5,75 | 4,95 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | | |

**Megjegyzés: Az ordináta-értéket a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.**

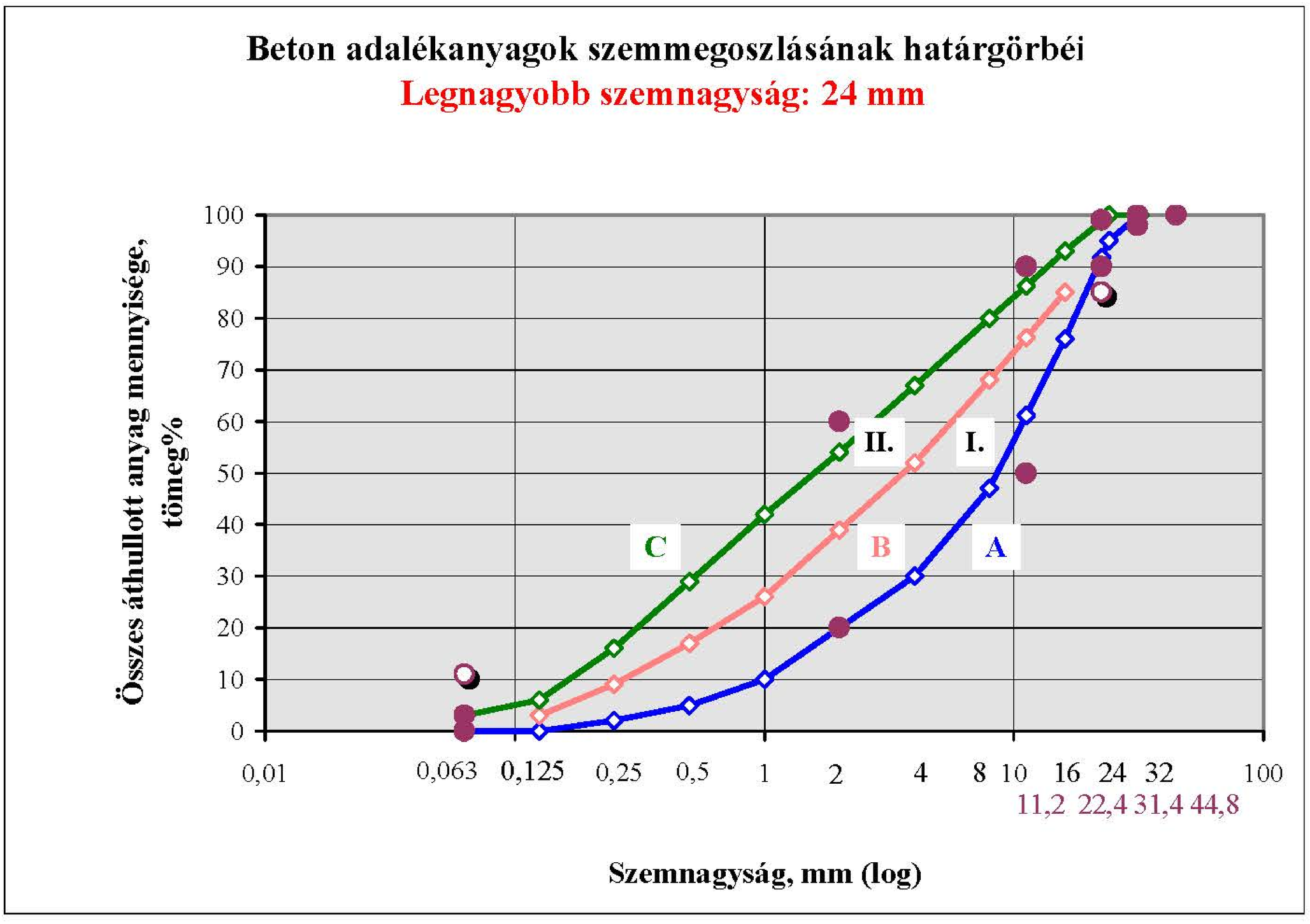


# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 24 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | 3 | | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 3 | 6 | | | | | | |
| 0,25 | 2 | 9 | 16 | | | | | | |
| 0,5 | 5 | 17 | 29 | | | | | | |
| 1 | 10 | 26 | 42 | | | | | | |
| 2 | 20 | 39 | 54 | 20 | 60 | | | | *(D/11,2)* |
| 4 | 30 | 52 | 67 | | | | | | |
| 8 | 47 | 68 | 80 | | | | | | |
| | | | | 50 | 90 | | | 11,2 | *D/2* |
| 16 | 76 | 85 | 93 | | | | | | |
| | | | | 90 | 85 | 99 | | 22,4 | *D* |
| 24 | 95 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 98 | | 100 | | 31,4 | *1,4 . D* |
| 32 | 100 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 100 | | 100 | | 44,8 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | | |
| | 7,10 | 6,00 | 5,10 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | | |

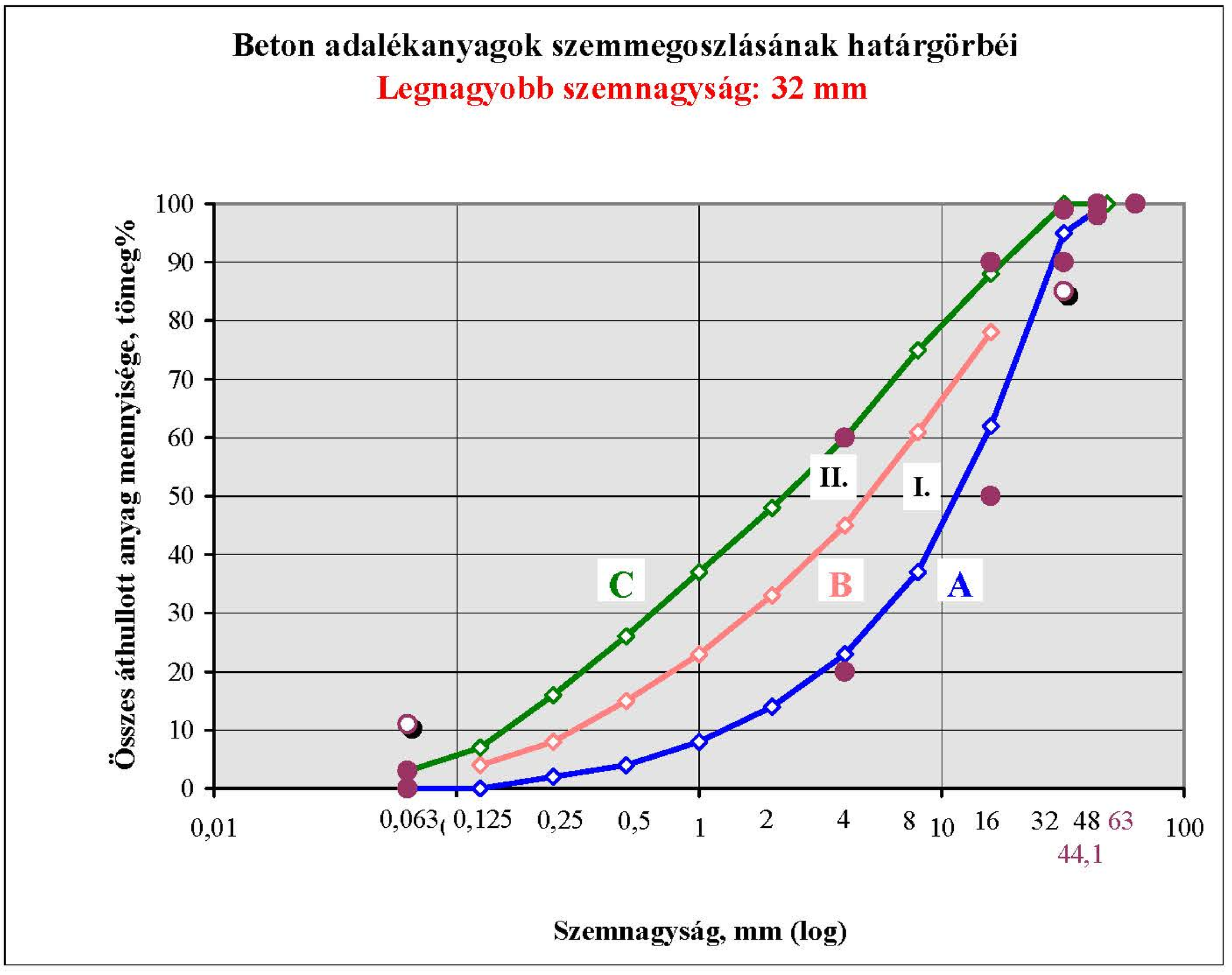
**Megjegyzés: Az ordináta-értéket a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.**



# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 32 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | | Legfeljebb | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | | 3 | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 4 | 7 | | | | | | |
| 0,25 | 2 | 8 | 16 | | | | | | |
| 0,5 | 4 | 15 | 26 | | | | | | |
| 1 | 8 | 23 | 37 | | | | | | |
| 2 | 14 | 33 | 48 | | | | | | |
| 4 | 23 | 45 | 60 | 20 | | 60 | | | *(D/8)* |
| 8 | 37 | 61 | 75 | | | | | | |
| 16 | 62 | 78 | 88 | 50 | | 90 | | | *D/2* |
| 32 | 95 | | 100 | 90 | 85 | 99 | | 31,5 (32) | *D* |
| | | | | 98 | | 100 | | 44,1 | *1,4 . D* |
| 48 | 100 | | 100 | | | | | | |
| | | | | 100 | | 100 | | 63,0 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | | |
| | 7,55 | 6,35 | 5,40 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | | |

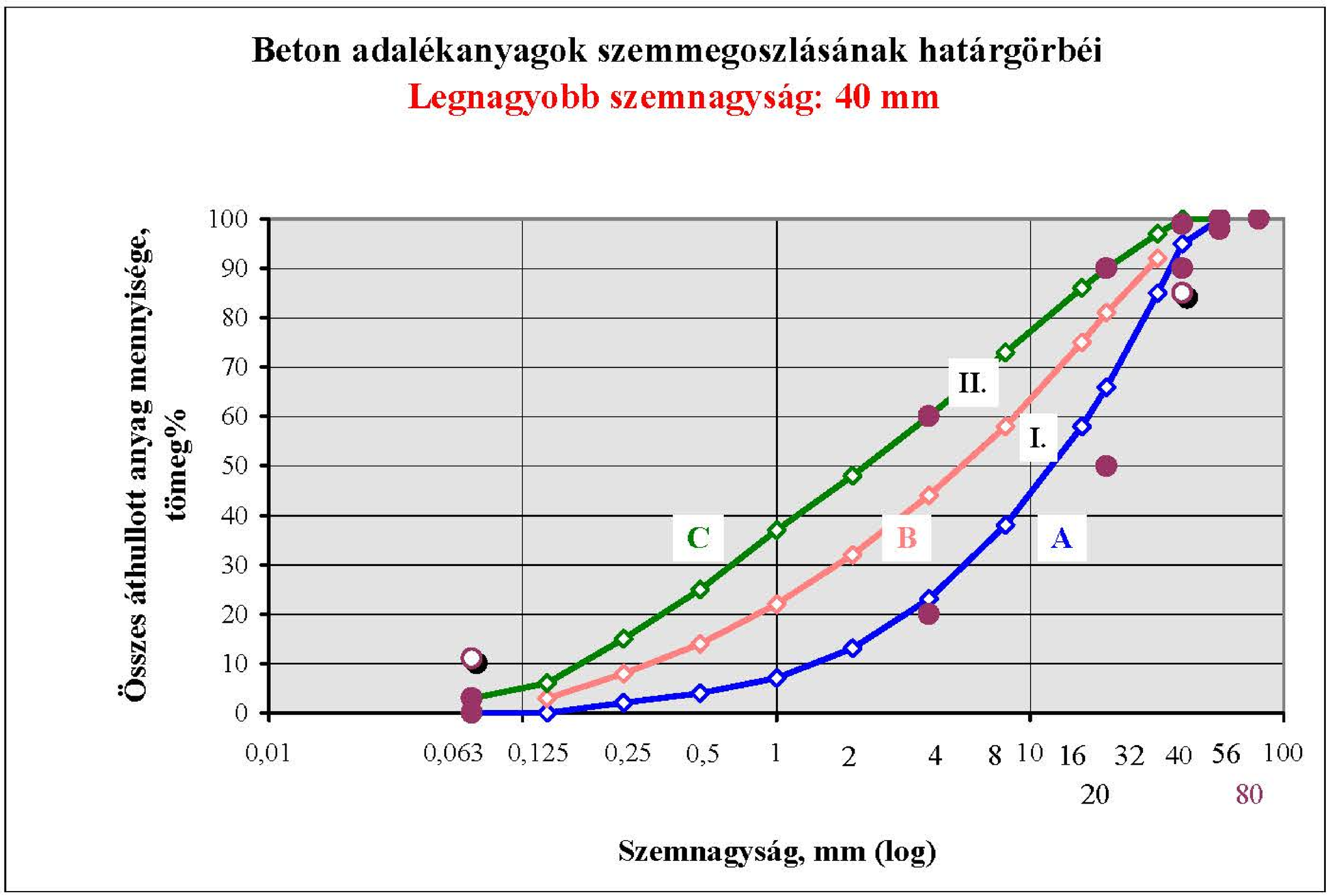


# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 40 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | | | | | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | Legalább | Legfeljebb | | | | |
| | A | B | C | | | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | 3 | | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 3 | 6 | | | | | | |
| 0,25 | 2 | 8 | 15 | | | | | | |
| 0,5 | 4 | 14 | 25 | | | | | | |
| 1 | 7 | 22 | 37 | | | | | | |
| 2 | 13 | 32 | 48 | | | | | | |
| 4 | 23 | 44 | 60 | 20 | | 60 | | | *(D/10)* |
| 8 | 38 | 58 | 73 | | | | | | |
| 16 | 58 | 75 | 86 | | | | | | |
| 20 | 66 | 81 | 90 | 50 | | 90 | | | *D/2* |
| 32 | 85 | 92 | 97 | | | | | | |
| 40 | 95 | | 100 | 90 | 85 | 99 | | | *D* |
| 56 | 100 | | 100 | 98 | | 100 | | | *1,4 . D* |
| | | | | 100 | | 100 | | 80,0 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | | |
| | 7,70 | 6,50 | 5,50 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | | |

**Megjegyzés: Az ordináta-értéket a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.**



# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

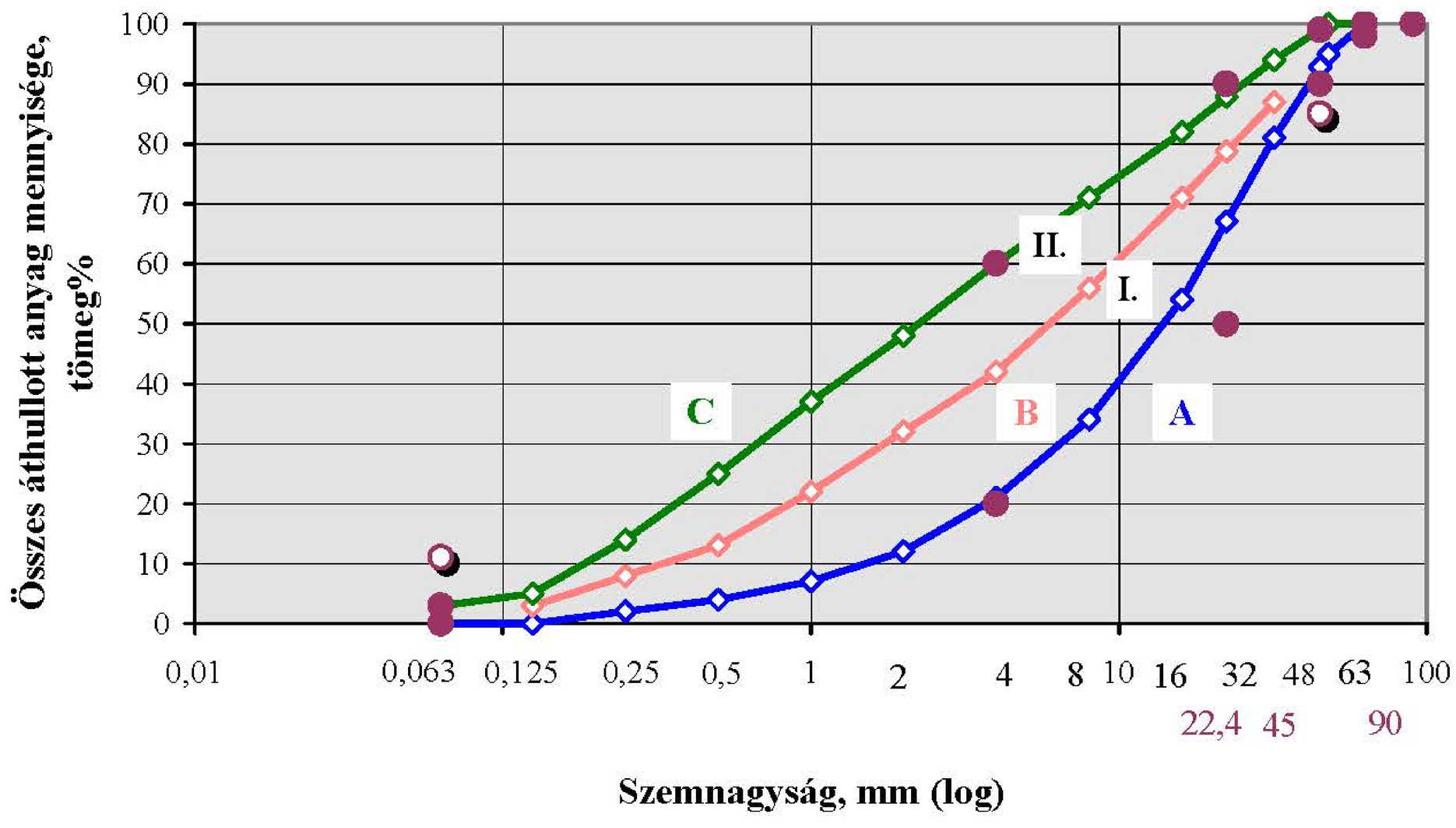
## Legnagyobb szemnagyság: 48 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% Határgörbe jele A | B | C | MSZ EN 12620:2003 Legalább | Legfeljebb | | Szemnagyság mm | jele |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,063 | 0 | | 3 | 0 | 3 | 11 | | *f* |
| 0,125 | 0 | 3 | 5 | | | | | |
| 0,25 | 2 | 8 | 14 | | | | | |
| 0,5 | 4 | 13 | 25 | | | | | |
| 1 | 7 | 22 | 37 | | | | | |
| 2 | 12 | 32 | 48 | | | | | |
| 4 | 21 | 42 | 60 | 20 | 60 | | | *(D/11,2)* |
| 8 | 34 | 56 | 71 | | | | | |
| 16 | 54 | 71 | 82 | | | | | |
| | | | | 50 | 90 | | 22,4 | *D/2* |
| 32 | 81 | 87 | 94 | | | | | |
| | | | | 90 | 85 | 99 | 45,0 | *D* |
| 48 | 95 | | 100 | | | | | |
| 63 | 100 | | 100 | 98 | 100 | | | *1,4 . D* |
| | | | | 100 | 100 | | 90,0 | *2 . D* |
| | Finomsági modulus | | | Kategória jele | | | | |
| | 7,85 | 6,65 | 5,55 | $G_A 90$ | $G_A 85$ | $f_3$ | $f_{11}$ | |

**Megjegyzés: Az ordináta-értéket a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.**

Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

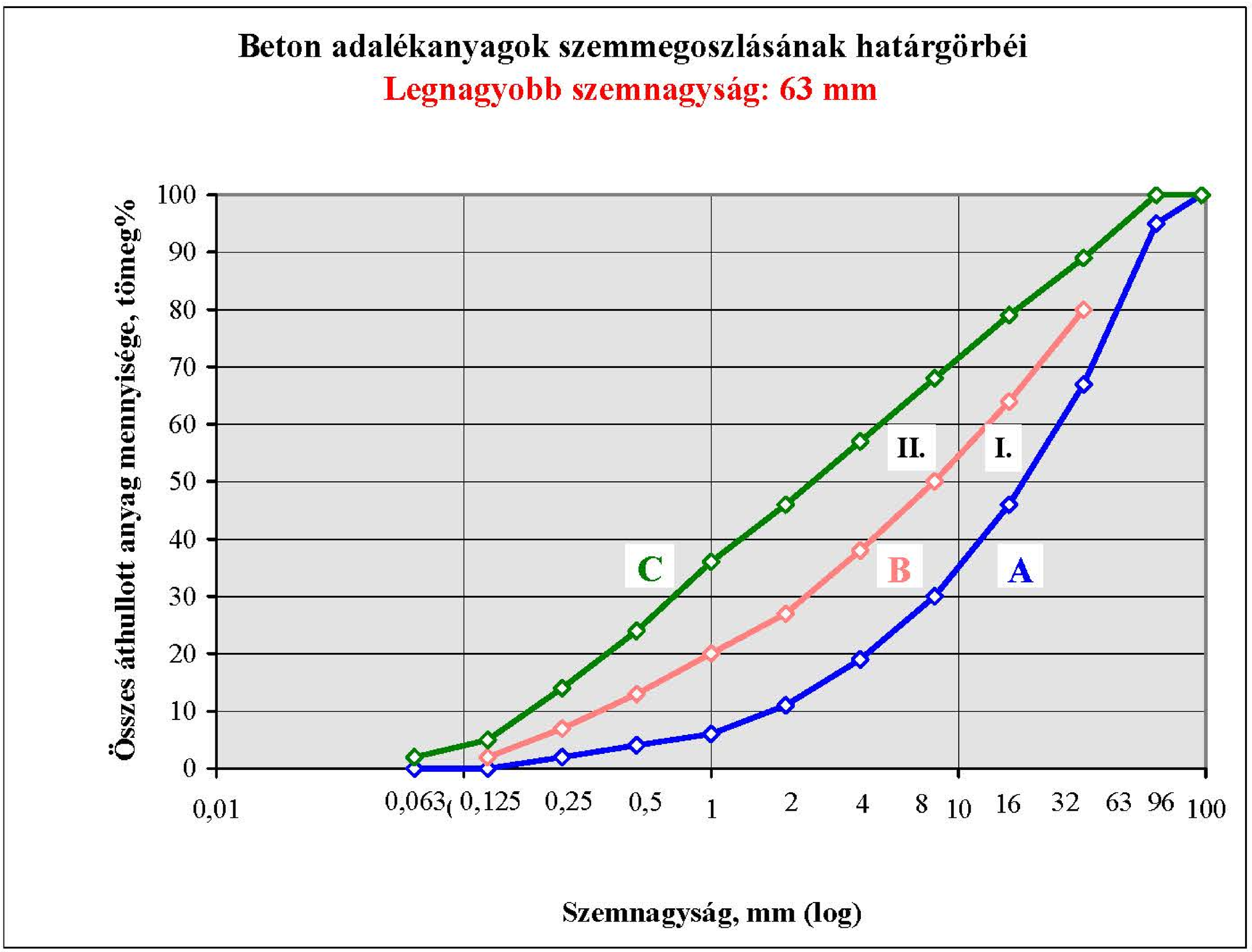
Legnagyobb szemnagyság: 48 mm



# Beton adalékanyagok szemmegoszlásának határgörbéi

## Legnagyobb szemnagyság: 63 mm

| Szem-nagy-ság mm | MSZ 4798-1:2004 | | | MSZ EN 12620:2003 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Összes áthullott anyag mennyisége, tömeg% | | | Legalább | Legfeljebb | Szemnagyság | |
| | Határgörbe jele | | | | | | |
| | A | B | C | | | mm | jele |
| 0,063 | 0 | | 2 | Az MSZ EN 12620:2003 szabvány a $d_{max} > 45$ mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyagok szemmegoszlásának határértékeit nem szabályozza. | | | |
| 0,125 | 0 | 2 | 5 | | | | |
| 0,25 | 2 | 7 | 14 | | | | |
| 0,5 | 4 | 13 | 24 | | | | |
| 1 | 6 | 20 | 36 | | | | |
| 2 | 11 | 27 | 46 | | | | |
| 4 | 19 | 38 | 57 | | | | |
| 8 | 30 | 50 | 68 | | | | |
| 16 | 46 | 64 | 79 | | | | |
| 32 | 67 | 80 | 89 | | | | |
| 63 | 95 | | 100 | | | | |
| 96 | 100 | | 100 | | | | |
| | Finomsági modulus | | | | | | |
| | 8,20 | 7,00 | 5,80 | | | | |



| | | |
|---|---|---|
| | **Szemmegoszlási jellemzők** | |

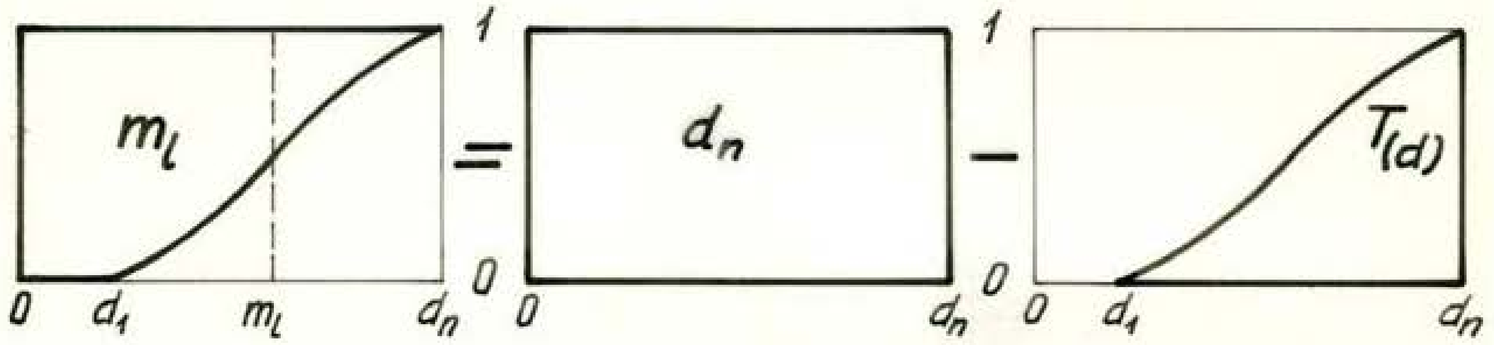
| | |
|---|---|
| Németül: | Charakteristiken der Korngrößenverteilung |
| Angolul: | Characteristics of particle size distribution |
| Franciául: | Caractéristique de composition granulométrique |

Kutatási, fejlesztési és igényesebb tervezési feladatok megoldása során a betonok ⁘ és habarcsok ⁘ adalékanyagául ⁘, esetleg töltőanyagául szolgáló homokok, homokos kavicsok ⁘, zúzottkövek ⁘, kőlisztek stb. szemmegoszlását ⁘ számszerűen a várhatóértékkel, a szórásnégyzettel, a variációs tényezővel, az átlagos szemnagysággal, a logaritmikus finomsági modulussal ⁘, és a térfogati fajlagos felülettel ⁘ jellemezhetjük. Ezek kiszámítása mindig a szitavizsgálat ⁘, vagy szedimentálás ⁘ eredménye alapján történhet.

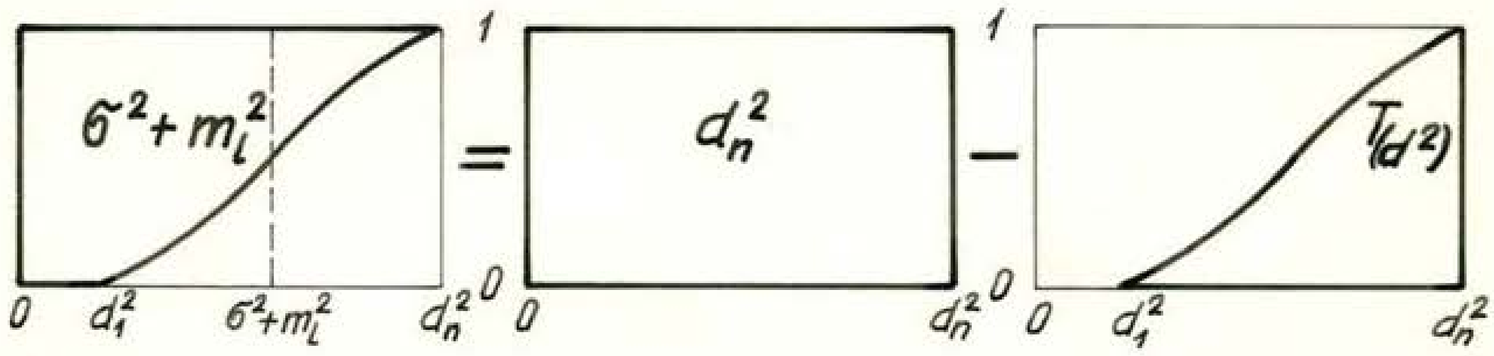
A szemmegoszlási jellemzők szemléltetéséhez és számításához azt a közös tulajdonságukat használjuk fel, hogy mindegyikük értéke kifejezhető a jellegüknek megfelelően transzformált abszcisszatengelyen ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti vagy feletti területtel. Ehhez az abszcisszatengelyek beosztását úgy kell megválasztani, hogy a koordinátarendszerbeli területek a szemmegoszlási jellemzőkkel arányosak legyenek, amit a szemmegoszlási görbe eredetileg lineáris abszcisszatengelyének esetenkénti transzformációjával lehet elérni. A lineáris skálabeosztású abszcisszatengely a szemnagyságnak, a transzformált tengely a szemnagyság származékának kifejezője.

A szemnagysággal a várhatóérték egyenes, a szórásnégyzet négyzetes, az átlagos szemnagyság és a logaritmikus finomsági modulus logaritmikus, a térfogati fajlagos felület fordított arányú összefüggésben áll. Ezért a várhatóértéket lineáris, a szórásnégyzetet négyzetes, az átlagos szemnagyságot és a logaritmikus finomsági modulust logaritmikus, a térfogati fajlagos felületet reciprok beosztású abszcisszatengelyre rajzolt szemmegoszlási görbével jelenítjük meg.

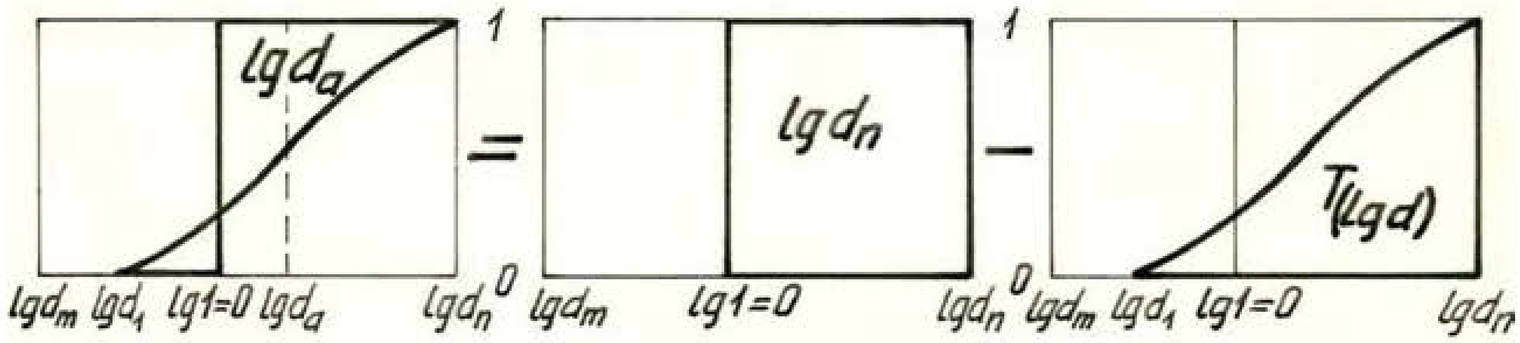
A független változó az abszcisszatengely lineáris beosztása esetén $d$, négyzetes beosztása esetén $d^2$, logaritmikus beosztása esetén lg$d$, reciprok beosztása esetén $d^{-1}$. A $d$ mértékegysége mm. Utaljanak az alsó indexek a halmaz-határokra, az 1 az elsőre, az $n$ az utolsóra, azaz a két utóbbi a szemhalmaz legkisebb és legnagyobb szemnagyságára.



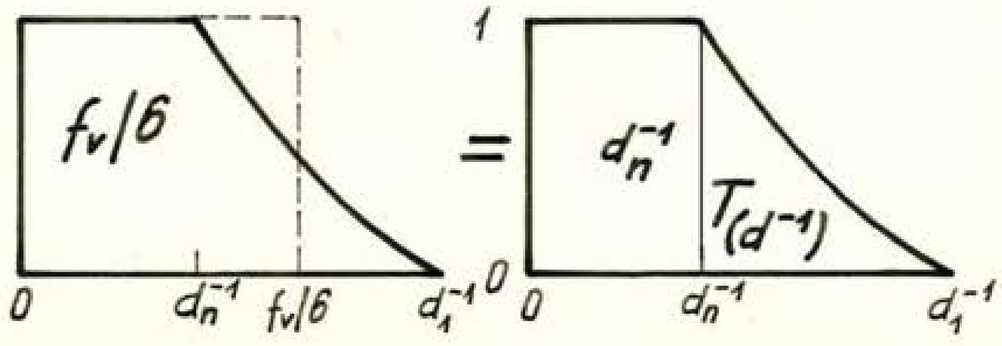

1. ábra. A lineáris finomsági modulus kifejezése




2. ábra. A szórásnégyzet kifejezése




3. ábra. A logaritmikus várhatóérték kifejezése




4. ábra. A térfogati fajlagos felület kifejezése

Keressük a kapcsolatot a megfelelő görbe alatti területek és a különböző szemmegoszlási jellemzők között. A *p'* sűrűségfüggvény és származékai alatt mindig tömegarányt kifejező *valószínűségi sűrűségfüggvényt*, a hozzá tartozó *p* eloszlásfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-eloszlásfüggvényt* kell érteni. A *p'* sűrűségfüggvény és a *p* eloszlásfüggvény kapcsolata:

$$p = \int_{d_1}^{d} p' \, \mathrm{d}d$$

A *p'* sűrűségfüggvény alatti terület értéke $v_0 = 1$.

A *d* szemnagyság ***várhatóértéke***, vagy más néven a **lineáris finomsági modulus** ($m_l$) azonos a *p'* sűrűségfüggvény alatti területnek az ordináta-tengelyre vett elsőrendű nyomatékával ($v_1$), amely egyenlő a *p* eloszlásfüggvény feletti területtel ($\Psi_0$), azaz a *lineáris beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe *d=0* és $d_n$ határú intervalluma feletti $m_l$ területtel (*1. ábra*):

$$m_1 = v_1 = \Psi_0 = \int_{d_1}^{d_n} d \cdot p' \,\mathrm{d}d = \int_{0}^{d_n} \mathrm{d}d - \int_{d_1}^{d_n} p \,\mathrm{d}d = d_n - T_{(d)} \qquad [\mathrm{mm}]$$

(1)

A ***szórásnégyzet*** a $p'$ sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett $\mu_2$ másodrendű centrális nyomatéka. Bizonyítható, hogy a szórásnégyzet, azaz a $\mu_2$ másodrendű centrális nyomaték egyenlő a $\nu_2$ másodrendű nyomaték és a $\nu_1$ elsőrendű nyomaték négyzetének különbségével, ami nem más, mint a lineáris beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti terület — az ordinátatengelyre vett — kétszeres $\Psi_1$ elsőrendű nyomatékának és a várhatóérték négyzetének különbsége:

$$\sigma^2 = \mu_2 = \nu_2 - \nu_1{}^2 = 2 \cdot \Psi_1 - m_1{}^2$$

Ha a $p$ eloszlásfüggvényt nem lineáris, hanem *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor a kétszeres $\Psi_1$ elsőrendű nyomaték helyébe egyszeres nulladrendű nyomaték lép, azaz a *szórásnégyzet* egyenlő a *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe $d=0$ és $d_n{}^2$ határú intervalluma feletti ($d_n{}^2$-$T_d2$) terület és a várhatóérték négyzete ($m_1{}^2$) különbségével (*2. ábra*):

$$\sigma^2 = d_n{}^2 - m_1{}^2 - T_{(d^2)} \qquad \text{azaz} \qquad \sigma^2 + m_1{}^2 = d_n{}^2 - T_{(d^2)} \qquad [\mathrm{mm}^2]$$

(2)

A $\sigma^2$ szórásnégyzet felhasználásával kiszámítható a $\sigma$ *szórás*, a $\sigma^2/m_{lin}{}^2$ *relatív szórásnégyzet*, a $\sigma/m_{lin}$ *relatív szórás* azaz *variációs tényező*.

Ha a szemmegoszlási görbét tízes alapú *logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor az előzőekben tárgyalt várhatóérték helyébe a ***logaritmikus várhatóérték*** lép. Minthogy a logaritmikus várhatóérték nem más, mint az átlagos szemnagyság tízes alapú logaritmusa ($\lg d_a$, amelyet $\lg d_{átlag}$-nak is jelölnek), következik, hogy felhasználásával az ***átlagos szemnagyság*** kiszámítható. Az átlagos szemnagyságot tehát tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengelyű koordinátarendszerben értelmezzük, és számértéke eltér a lineáris finomsági modulus számértékétől.

A várhatóértéket meghatározása szerint az eloszlásfüggvény feletti terület fejezi ki. A zérus kezdőértékű lineáris abszcisszatengely felett e terület határai $d=0$ és $d_n$, azaz az ordinátatengely és a legnagyobb szemnagyság.

Logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén a legnagyobb szemnagyság a $\lg d_n$ helyen található, de az ordinátatengely helyének értelmezése ennél bonyolultabb, mert az abszcisszatengely kezdőértéke — mivel $\lg 0 = -\infty$ — az eddigiektől eltérően zérustól különböző szám kell, hogy legyen. Az ordinátatengely szerepét a $\lg 1 = 0$ értékű abszcisszarendező veszi át, amely két térfélre osztja a koordinátarendszert. Minthogy az egynél kisebb számok logaritmusa zérusnál kisebb értékű, azaz negatív előjelű, a $\lg 1 = 0$ értékű abszcisszarendezőtől balra eső térfél előjele negatív lesz. A $d_1 < 1$ mm legkisebb szemnagyságú szemmegoszlási görbe a legnagyobb szemnagyság értékétől függően e negatív térfélben helyezkedik el (ha $d_n < 1$ mm), vagy a pozitív térfélből oda átnyúlik (ha $d_n > 1$ mm). Ez utóbbi lehetőséget tekinthetjük a gyakorlatban leginkább előforduló általános esetnek.

Így a logaritmikus várhatóértékkel kapcsolatban nem beszélhetünk görbe feletti, hanem csak görbével határolt területről. Eszerint a *logaritmikus várhatóérték* ($\lg d_a$) azonos a logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt eloszlásfüggvénnyel határolt területtel, amely a $\lg 1=0$ értékű abszcisszarendezőtől balra lévő negatív térfélben görbe alatti, az attól jobbra lévő pozitív térfélben görbe feletti részterület (*3. ábra*), amit a következőképpen lehet kifejezni:

$$lg\, d_a = lg\, d_n - T_{(lg\, d)} \qquad (3)$$

A (3) jelű egyenletbe a $d$ értékét mm-ben helyettesítjük be, a $\lg d_a$ értékét pedig nevezetlen számnak tekintjük.

Az *átlagos szemnagyság* ($d_a$, amelyet $d_{átlag}$-nak is jelölnek) a logaritmikus várhatóérték ($\lg d_a$) numerusa, amelyet a (3) jelű egyenlet értékének meghatározása után számíthatunk ki:

$$d_a = 10^{lg\, d_a} \qquad \text{[mm]}$$

A *3. ábrán* látható, hogy a $\lg d_a$ logaritmikus várhatóérték, és így a $d_a$ logaritmikus átlagos szemnagyság is, független az abszcisszatengely $lgd_m$ kezdőértékétől.

A logaritmikus finomsági modulus a logaritmikus várhatóértékből származtatható. Levezetéséhez ki kell számítani az $F_{\lg d}$ ***Hummel-féle területet*** ❖, amely a klasszikus megfogalmazás szerint azonos a tízes alapú *logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti területtel, amely az abszcisszatengely $\lg d_m$ kezdőértékéig terjed. A művelet úgy hajtható végre, hogy a $\lg d_a$ és a $\lg d_m$ által képviselt területek különbségét kell képezni, ami a $\lg d_m$ negatív előjele miatt számszakilag összeadást jelent:

$$F_{lg\, d} = lg\, d_a - lg\, d_m = m_{lg} \cdot lg\, 2 \qquad \text{azaz} \qquad m_{lg} = \frac{F_{lg\, d}}{lg\, 2}$$

A $d_a$ és $d_m$ értékek mértékegysége mm, az $F_{\lg d}$ értéke nevezetlen szám, az $m_{\lg}$ a ***logaritmikus finomsági modulus***, ugyancsak nevezetlen szám.

A *Hummel-féle terület* ($F_{lgd}$) nagysága és következésképpen annak származékai, mint a különböző abszcisszatengely kezdőértékekhez tartozó *logaritmikus finomsági modulusok*, jelentős mértékben függnek a *Hummel-féle* területet határoló $\lg d_m$ abszcisszatengely kezdőérték, illetve az ahhoz tartozó $d_m \neq 0$ szemnagyság megállapodás tárgyát képező értékétől. Napjainkban az abszcisszatengely kezdőértékét általában $d_m=0{,}063$ mm-nek veszünk fel.

A XX. század első felének betonkutatói, így az amerikai *Abrams* (1918), a német *Hummel* (1930), majd követőik, mint a német *Spindel* (1931), az osztrák *Stern* (1932), és később itthon *Palotás* (1952, 1961), *Popovics* (1952, 1953), *Balázs* (1994), a beton adalékanyagok szemmegoszlását nem az abszcisszatengely kezdőértéktől független $d_a$ logaritmikus átlagos szemnagysággal jellemezték, hanem a — gyakorlat számára kétségkívül szemléletes és jól kezelhető — görbe feletti $F_{\lg d}$ *Hummel*-féle területtel hozták összefüggésbe. Az adalékanyag szemmegoszlásának ma is a *Hummel*-féle területből levezethető logaritmikus finomsági modulus a legfőbb jellemzője.

A ***térfogati fajlagos felület*** az egységnyi testtérfogatú szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemhalmaz szemei külső felülete összegének és a szemek

— többnyire pórusokat is tartalmazó, tehát a külső felület által határolt — térfogata összegének hányadosa.

A gömb vagy kocka alakú, tehát idealizált szemalakú szemek halmazának $f_V$ térfogati fajlagos felületét kifejezhetjük, mint a $p'$ sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű $\nu_{-1}$ nyomatéka hatszorosát:

$$f_V = 6 \cdot \nu_{-1} = 6 \cdot \int_{d_1}^{d_n} d^{-1} \cdot p' \, \mathrm{d}d \qquad [\mathrm{mm}^{-1}]$$

Bevezetve az $u=d^{-1}$ [$\mathrm{mm}^{-1}$] jelölést és a fenti egyenletbe behelyettesítve megfelelőit, bizonyítható, hogy

$$f_V = 6 \cdot \nu_{-1} = 6 \cdot \left( \int_0^{u_n} \mathrm{d}u + \int_{u_n}^{u_1} p_u \, \mathrm{d}u \right) \qquad [\mathrm{mm}^{-1}]$$

Eszerint a térfogati fajlagos felület a *reciprok beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti terület hatszorosával egyenlő (*4. ábra*), azaz

$$f_V = 6 \cdot ( {d_n}^{-1} + T_{(d^{-1})} ) \qquad [\mathrm{mm}^{-1}] \qquad (4)$$

A szemhalmaz térfogati fajlagos felületének értéke nagyon érzékeny a finomszemek nagyságára és mennyiségére. Például szélső esetként a $d_1=0$ legkisebb szemnagyságú szemhalmazok térfogati fajlagos felületének számítása kifejezetten nehézségekbe ütközik, mert ha $d_1=0$, akkor $u_1=\infty$ és $f_V=\infty$, azaz a térfogati fajlagos felület értéke végtelen nagyra adódik. Ezért feltételül szoktuk szabni, hogy $d_1 \geq 0{,}001$ mm illetve $u_1 \leq 1000$ $\mathrm{mm}^{-1}$ kell legyen. Bár e feltétel önkényes, értéke azért fogadható el, mert a beton adalékanyagban a legfinomabb szemek az agyag szemek, (amelyek szemnagysága 0,002 mm-nél kisebb,) és ezek mennyiségét egyébként is tudatosan korlátozzuk.

Az építőanyagipari gyakorlatban a szemhalmazok egységnyi mennyiségére eső felületet a *térfogati fajlagos felület* helyett szívesen fejezik ki a *tömegi fajlagos felülettel*, amit egyszerűen ***fajlagos felületnek*** ❖ neveznek. Ennek méréstechnikai oka van, míg ugyanis a térfogati fajlagos felület egy számított szemmegoszlási jellemző, addig a fajlagos felület értékét meg lehet mérni. A fajlagos felület mértékegysége $\mathrm{m}^2/\mathrm{kg}$, ami 1000 $\mathrm{mm}^2/\mathrm{g}$-nak felel meg.

Az $f$ fajlagos felület és az $f_v$ térfogati fajlagos felület kapcsolatát az (5) jelű egyenlet írja le.

$$f = 10^3 \cdot \frac{f_V}{\rho_T} \qquad [\mathrm{m}^2/\mathrm{kg}] \qquad (5)$$

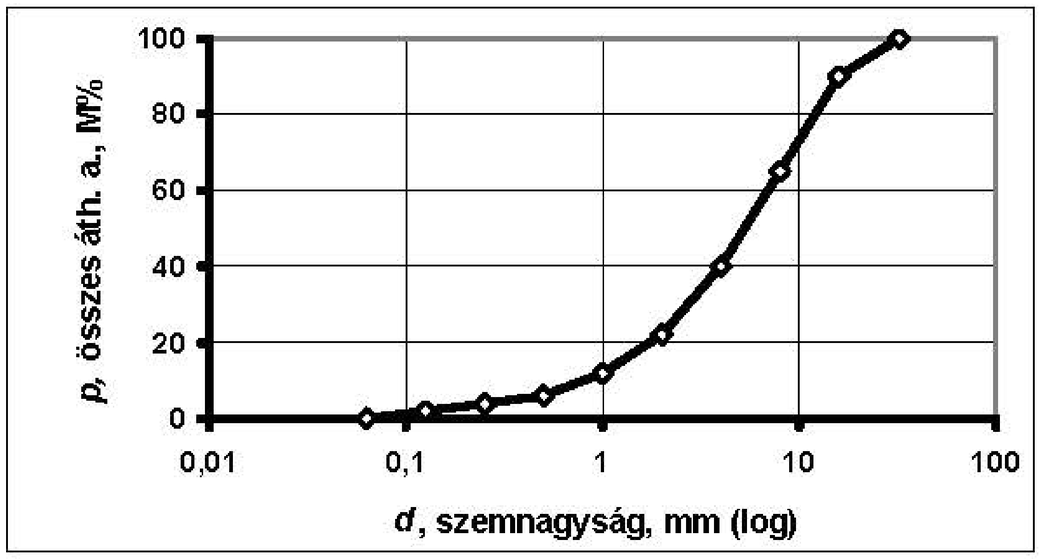
ahol $f_V$ a térfogati fajlagos felület [1/mm], és $\rho_T$ a kiszárított állapotú szemhalmaz szemeinek átlagos testsűrűsége [$\mathrm{kg}/\mathrm{m}^3$].

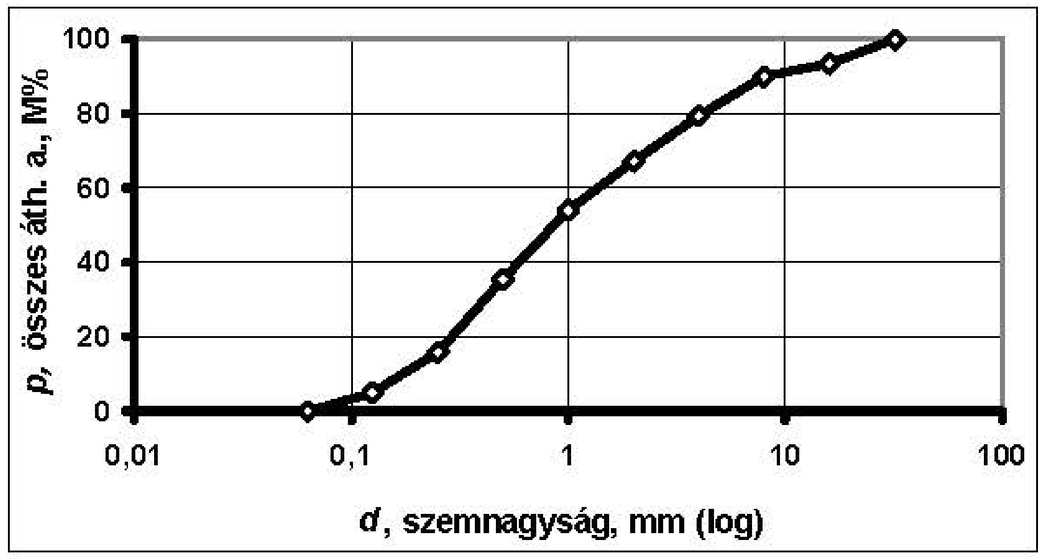
A fajlagos felület az anyag testsűrűségének is függvénye, ezért — a térfogati fajlagos felülettel ellentétben — nem tekinthető kifejezetten szemmegoszlási jellemzőnek, hiszen a fajlagos felület csak az azonos testsűrűségű szemek halmazai felületének közvetlen összevetésére alkalmas.

Az *1. táblázatban* két példát mutatunk be — egymással párhuzamba állítva — a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére. Az *1. táblázatban* szereplő durvább és finomabb szemhalmazok szemmegoszlási jellemzőinek összevetéséből jól látható, hogy a szemmegoszlási görbe változásait a szemmegoszlási jellemzők értékei érzékenyen követik, elhelyezkedését kifejező módon leírják.

**1. táblázat: Példák a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére**

| Durvább szemmegoszlás | | | | Finomabb szemmegoszlás | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $d$ [mm] | $p$ [tömeg%] | $d$ [mm] | $p$ [tömeg%] | $d$ [mm] | $p$ [tömeg%] | $d$ [mm] | $p$ [tömeg%] |
| $d_1$=0,063 | $p_1$=0 | $d_6$=2 | $p_6$=22 | $d_1$=0,063 | $p_1$=0 | $d_6$=2 | $p_6$=67,3 |
| $d_2$=0,125 | $p_2$=2 | $d_7$=4 | $p_7$=40 | $d_2$=0,125 | $p_2$=5 | $d_7$=4 | $p_7$=79,4 |
| $d_3$=0,25 | $p_3$=4 | $d_8$=8 | $p_8$=65 | $d_3$=0,25 | $p_3$=15,9 | $d_8$=8 | $p_8$=90 |
| $d_4$=0,5 | $p_4$=6 | $d_9$=16 | $p_9$=90 | $d_4$=0,5 | $p_4$=35,5 | $d_9$=16 | $p_9$=93,5 |
| $d_5$=1,0 | $p_5$=12 | $d_{10}$=32 | $p_{10}$=100 | $d_5$=1,0 | $p_5$=54,2 | $d_{10}$=32 | $p_{10}$=100 |




| $m_l$ | $\sigma^2$ | $\sigma$ | $\sigma^2/m_l^2$ | $m_l$ | $\sigma^2$ | $\sigma$ | $\sigma^2/m_l^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,648 | 57,598 | 7,589 | 0,985 | 3,414 | 41,472 | 6,440 | 3,557 |
| $lg\ d_a$ | $d_a$ | $F_{dm=0,063}$ | $m_{lg}$ | $lg\ d_a$ | $d_a$ | $F_{dm=0,063}$ | $m_{lg}$ |
| 0,629 | 4,258 | 1,830 | 6,079 | 0,028 | 1,066 | 1,228 | 4,081 |
| $f_v$ | | $f$ ($\rho$ = 2640 kg/m$^3$) | | $f_v$ | | $f$ ($\rho$ = 2640 kg/m$^3$) | |
| 4,357 | [mm$^{-1}$] | 1,651 | [m$^2$/kg] | 13,735 | [mm$^{-1}$] | 5,203 | [m$^2$/kg] |

Ha ide tetszik kattintani, akkor egy Excel oldal töltődik le. Ebben található egy ábra egy szemmegoszlási görbével, és körülötte a görbéhez tartozó szemmegoszlási jellemzőkkel. Ha ki tetszik jelölni a görbe pontjait, és a bal egérgombbal el tetszik húzni az ábrán a kijelölt pontok közül egyet-kettőt, akkor egyrészt megváltozik a görbe alakja, másrészt megváltoznak a szemmegoszlási görbéhez tartozó, az ábra körül látható szemmegoszlási jellemzők értékei.

Felhasznált irodalom:

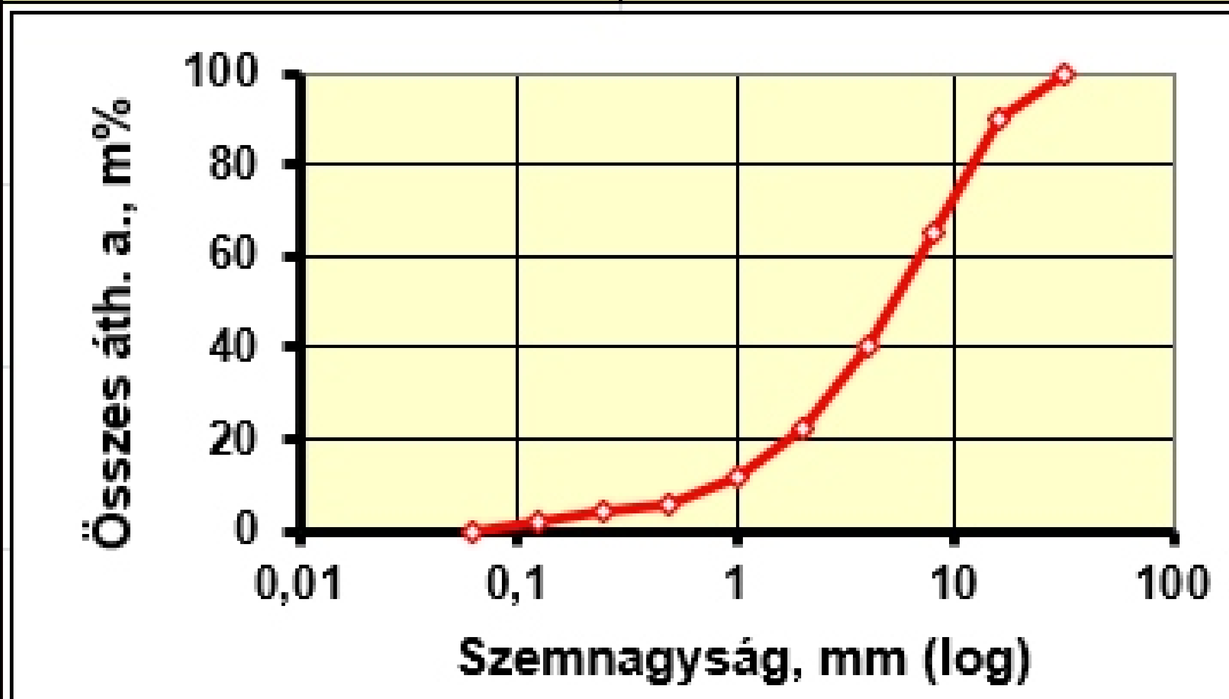
Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés. 2004. VI. évfolyam. 1. szám. pp. 3-11.

Jelmagyarázat: A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| | | |
|---|---|---|
| Rövidített változata megjelent a | BETON szakmai havilap | 2005. február havi számának 6-7. oldalán |

| $m_{lin}$ | $\sigma^2$ | $\sigma$ | $\sigma^2/m_{lin}^2$ |
|---|---|---|---|
| 7,648 | 57,598 | 7,589 | 0,985 |

| $lg\ d_{átlag}$ | | $F_{dm=0,063}$ |
|---|---|---|
| 0,629 | | 1,830 |
| $d_{átlag}$ | | $m_{lg}$ |
| 4,258 | | 6,079 |




| $f_v$ | | $f$ ($\rho$ = 2640 kg/m$^3$) | |
|---|---|---|---|
| 4,357 | [mm$^{-1}$] | 1,651 | [m$^2$/kg] |

# Szemmegoszlási jellemzők harmóniája, avagy grafoanalitikus számításmódja

Megjegyzés: Ennek a témának a kidolgozása idején (1970-es évek elején) a mai *„szemmegoszlás”* kifejezés szinonimájaként használatos volt a *„szemeloszlás”* kifejezés is, ezért használata ebben a dolgozatban visszatér.

E noteszlap a fáradtságosabb olvasmányok csoportjába sorolható, amelyet elszántabb Internetezőknek ajánlunk.

Ezt azonban jó lelkiismerettel tesszük, mert a dolgozat - a hasznosnak vélt gondolatokon túl - reményeink szerint felvillantja a többek által száraz, leíró tudományágnak tartott építőanyagtan és betontechnológia fontos fejezetének, a granulometriának, vagy leszűkítve, a szemszerkezettannak a logikán alapuló szépségét is.

A harmónia szépség, melynek birtoklásáért meg kell küzdeni. Tessék jókedvvel megkísérelni, nem nehéz, csak idő és türelem igényes elfoglaltság.

## Bevezetés

Kutatási, fejlesztési és igényesebb gyakorlati kompozit-tervezési feladatok megoldása során, főképpen a **betonok**, ritkábban a habarcsok és az aszfaltok **adalékanyagául**, esetleg töltőanyagául szolgáló **homokok, kavicsok**, zúzottkövek, kőlisztek, kőporok **szemeloszlását** számszerűen a várhatóértékkel, a szórásnégyzettel, a relatív szórásnégyzettel, az átlagos szemnagysággal, a logaritmikus finomsági modulussal, és a térfogati fajlagos felülettel jellemezzük vagy jellemezhetjük [1]. Ezek kiszámítása mindig a szitavizsgálat, vagy szedimentálás eredménye alapján, de kétféle módon, grafikusan és analitikusan történhet aszerint, hogy a szemeloszlás-jellemzőkkel arányos koordinátarendszerbeli területek nagyságát, vagy a szemeloszlás-jellemzőket kifejező momentumokat határozzuk meg. A terület-meghatározást lényegében méréssel, a momentum-meghatározást kizárólag számítással végezzük.

Mindkét eljárásnak differenciálos és differenciás változata van.

Differenciál-számítás esetén a grafikus módszerhez a vizsgálati eredményekből szerkesztett szemeloszlásgörbe ismeretére, az analitikus módszerhez a vizsgálati eredményekből számított regressziós szemeloszlásfüggvény ismeretére van szükség (például a *Gates, Gaudin, Rosin-Rammler-Sperling, Bennett, Schuhmann, Kolmogorov-Rényi, Fáy-Zselev, Fuller* elméletek). A szemeloszlás-jellemzők számításának elméleti alapját a grafikus és analitikus eljárás differenciál módszerére épülő meggondolások képezik.

Differencia-számításnál mind a grafikus, mind az analitikus módszer esetén a szemhalmazt idealizált szemeloszlású, és a vizsgálati szemnagyságok által meghatározott részhalmazok összegeként fogjuk fel. A differencia módszer a gyakorlat eszköze, grafikus formában elsősorban a mindennapi építőmunkában (például az MSZ

4713/3:1977), analitikus formában inkább csak a tudományos munkában alkalmazzuk. Ez a kettősség az eredmények eltérésében is megmutatkozik, ami egy egységes számítási módszer kidolgozásának szükségességét vetette fel.

A kidolgozott egységes számítási módszer a grafoanalitikus differencia-számítás jegyeit viseli magán. A módszer grafoanalitikus, mert területszámítással momentum meghatározást végzünk, és differencia-számítás, mert a szemeloszlás-jellemzők számításához közvetlenül a szitavizsgálat, vagy szedimentálás eredményeit használjuk fel.

A módszer előnye, hogy alapelve egységes szemléletű, a szitavizsgálathoz tetszőleges lyukbőségű sziták használatát - szedimentálásnál tetszőleges szemnagyságok ülepedésének vizsgálatát - teszi lehetővé, a szemeloszlásgörbe megszerkesztését, vagy a szemeloszlásfüggvény meghatározását szükségtelenné teszi, a koordinátarendszerbeli terület, illetve az azzal arányos hosszúság mérését kiküszöböli. A számítási módszer alkalmazása egyszerű és hasonló alakú képletek megoldásában áll, amelyek könnyen számítógépre is vihetők.

A módszert a következő fejezetekben tárgyaljuk:

- Számítások alapelve
- Várhatóérték vagy lineáris finomsági modulus
- Szórásnégyzet
- Átlagos szemnagyság vagy logaritmikus várhatóérték
- Logaritmikus finomsági modulus
- Térfogati fajlagos felület

A számítási módszert a *BME Ásvány- és Földtani Tanszékén* (ma az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék mérnökgeológia tanszéki csoportja) működött szabványosítási bizottság annak idején elfogadta és a *Magyar Szabványügyi Hivatal* 1981. évben szabványosította [2]. (Ennek az egykori nemzeti kő és kavics szabványosítási bizottságnak a munkájáról ide kattintva lehet olvasni.)

## IRODALOM

[1] Kausay Tibor: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle. 25. évf. 1975. 4. szám. 165 -164 p.

[2] MSZ 18288/5:1981 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlásjellemzők számítása

[3] Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés. VI. évf. 2004. 1. szám. pp. 3-11.

## Számítások alapelve

Számítási alapelvként a szemeloszlási jellemzőknek azt a közös tulajdonságát használjuk fel, hogy mindegyikük értéke kifejezhető a megfelelő koordináta-abszcisszatengelyen ábrázolt szemeloszlásgörbe alatti területtel. Ehhez az abszcisszatengelyek beosztását úgy kell megválasztani, hogy a koordinátarendszer-beli területek a szemeloszlási jellemzőkkel arányosak legyenek, amit a szemeloszlásgörbe eredetileg lineáris abszcisszatengelyének esetenkénti transzformációjával lehet elérni. A lineáris skálabeosztású abszcisszatengely a szemnagyságnak, a transzformált tengely a szemnagyság származékának hordozója.

A. szemnagysággal a várhatóérték egyenes, a szórásnégyzet négyzetes, az átlagos szemnagyság és a logaritmikus finomsági modulus logaritmikus, a térfogati fajlagos felület fordított arányú összefüggésben áll. Ezért a várhatóértéket lineáris, a szórásnégyzetet négyzetes, az átlagos szemnagyságot és a logaritmikus finomsági modulust logaritmikus, a térfogati fajlagos felületet reciprok beosztású abszcisszatengelyre rajzolt szemeloszlásgörbével jelenítjük meg.

A szemeloszlási görbét egyenes szakaszokból összetettnek tekintjük. Az egyenes szakaszok sarokpontjait a vizsgálati szemnagyságok abszcissza, és a vizsgálati szemeloszlások ordináta rendezővonalainak megfelelő metszéspontjai adják meg. Megállapodásunk az abszcisszatengely beosztások mindegyikére érvényes, tehát a valóságtól eltérően abszcisszatengely beosztásonként más-más - de a transzformált abszcisszatengelyre vonatkozóan mindig lineáris - rész-szemhalmaz eloszlásokkal dolgozunk, ami a módszer egyetlen - és szűk részhalmaz-határok esetén elhanyagolható - pontatlansága.

A vizsgálati szemnagyságok a rész-szemhalmazok halmazhatárait szolgáltatják, amelyekhez, illetve amelyek származékához tartozó abszcissza rendezővonalak a szemeloszlásgörbe alatti területet részterületekre osztják. Feladatunk e részterületek nagyságának kiszámítása, összegezése, és a szemeloszlási jellemzőkre vonatkoztatása.

Oldjuk meg a területszámítást először általánosságban, mert a szemeloszlási jellemzők számítása a szemeloszlásgörbe alatti terület általános alakú összefüggésének megoldására vezethető vissza.

**Megjegyzés**

Dolgozatunkban a $p'_{(\delta)}$ gyakoriságfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-gyakoriságfüggvényt*, a hozzá tartozó $p_{(\delta)}$ eloszlásfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-eloszlásfüggvényt* értünk. Így van ez akkor is, amikor az ordinátatengely beosztása tömeg%.

Az **általános alakú összefüggés** felírásához tekintsük a szemeloszlásgörbét egyenes szakaszokból összetettnek és számítsuk ki a $p_{(\delta)}$ szemeloszlásgörbe alatti $T_{(\delta)}$ területet (*1. egyenlet*).

Jelöljük az *1.-2. ábra* értelmezésében a szemeloszlások értékét *p*-vel, a *d* részhalmaz-határok függvényét δ-val, amely az abszcisszatengely lineáris beosztása esetén *d*-t, négyzetes beosztása esetén $d^2$-et, logaritmikus beosztása esetén *lgd*-t, reciprok

beosztása esetén $d^1$-t jelent. A $d$ mértékegysége mm. Utaljanak az alsó indexek a részhalmaz-határokra, az *1* az elsőre, az *n* az utolsóra, azaz a két utóbbi a szemhalmaz legkisebb és legnagyobb szemnagyságára.

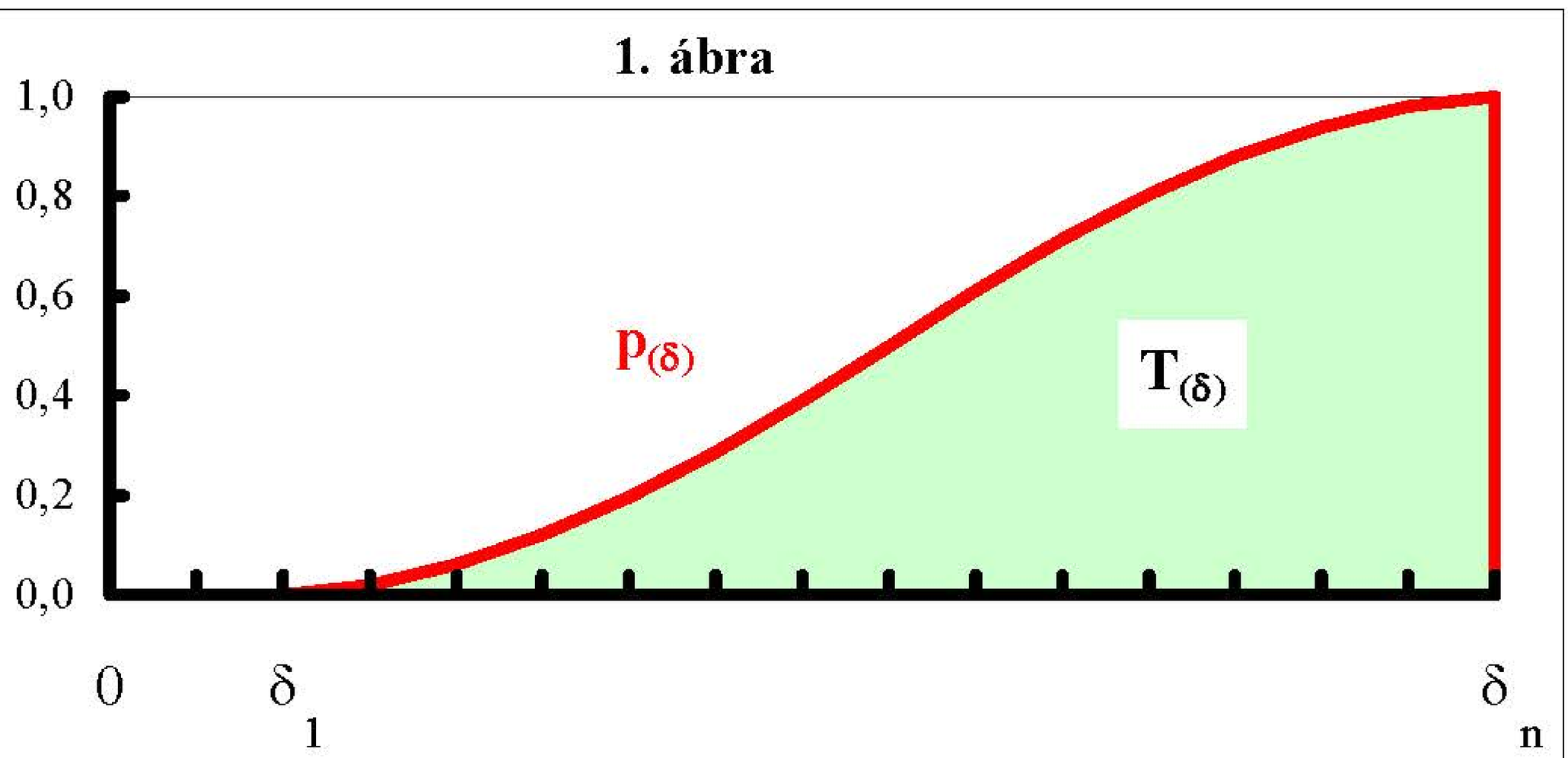
$$T_{(\delta)} = \int_{\delta_1}^{\delta_n} p.d\delta = \sum_{i=1}^{n-1} T_i = \frac{1}{100} * \sum_{\delta_1}^{\delta_n} \frac{p_i^{\%} + p_{i+1}^{\%}}{2} * (\delta_{i+1} - \delta_i) =$$

$$= \frac{1}{100} * [\frac{p_1^{\%} + p_2^{\%}}{2} * (\delta_2 - \delta_1) + \frac{p_2^{\%} + p_3^{\%}}{2} * (\delta_3 - \delta_2) +$$

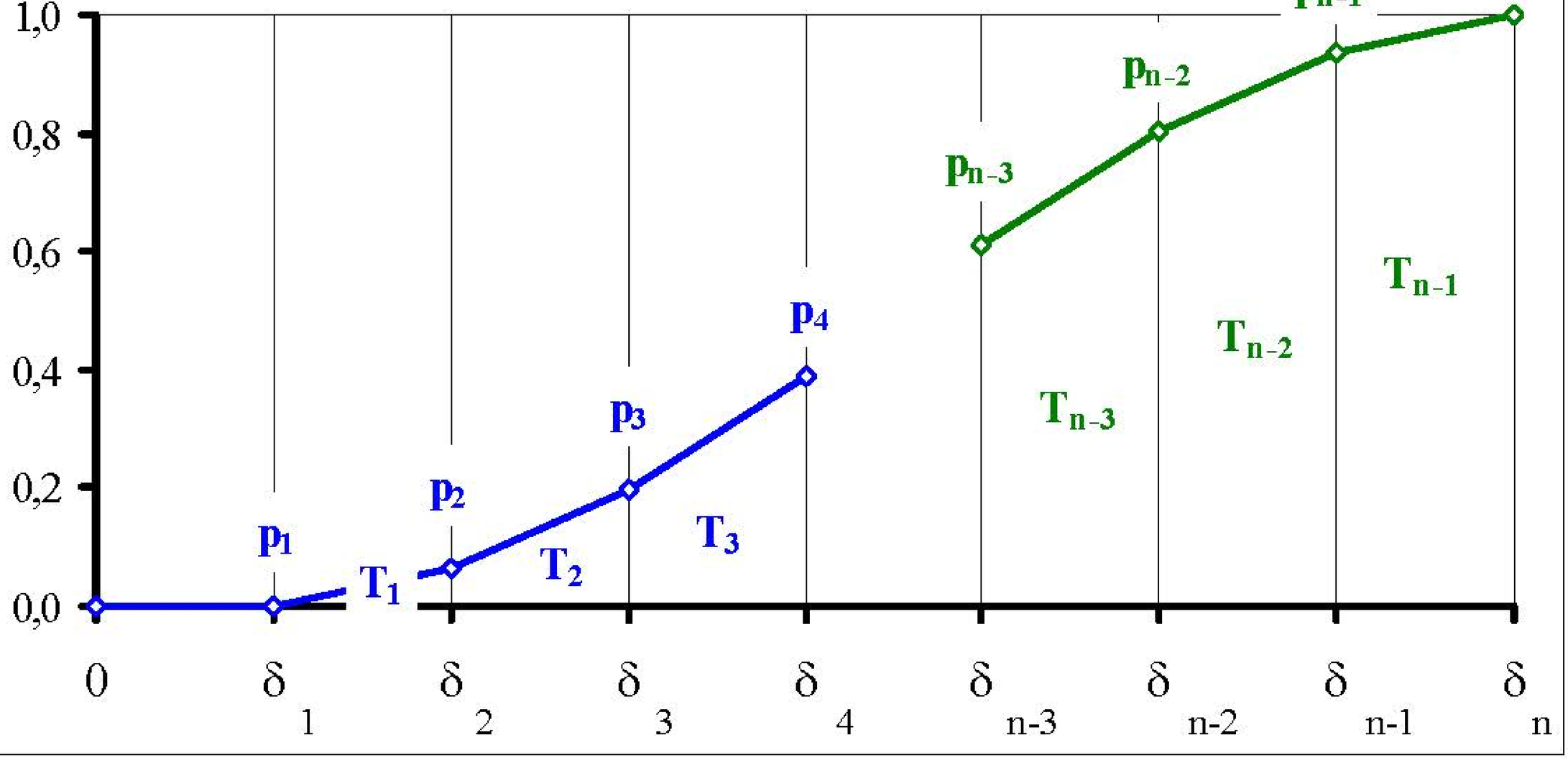
$$+ \frac{p_3^{\%} + p_4^{\%}}{2} * (\delta_4 - \delta_3) + \ldots + \frac{p_{n-1}^{\%} + p_n^{\%}}{2} * (\delta_n - \delta_{n-1})] =$$

$$= \frac{1}{200} * [100 * (\delta_n - \delta_{n-1}) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i^{\%} * (\delta_{i+1} - \delta_{i-1})] \qquad (1)$$

**1. ábra**



**2. ábra**




Keressük ezek után a kapcsolatot a megfelelő görbe alatti területek és a különböző szemeloszlási jellemzők között.

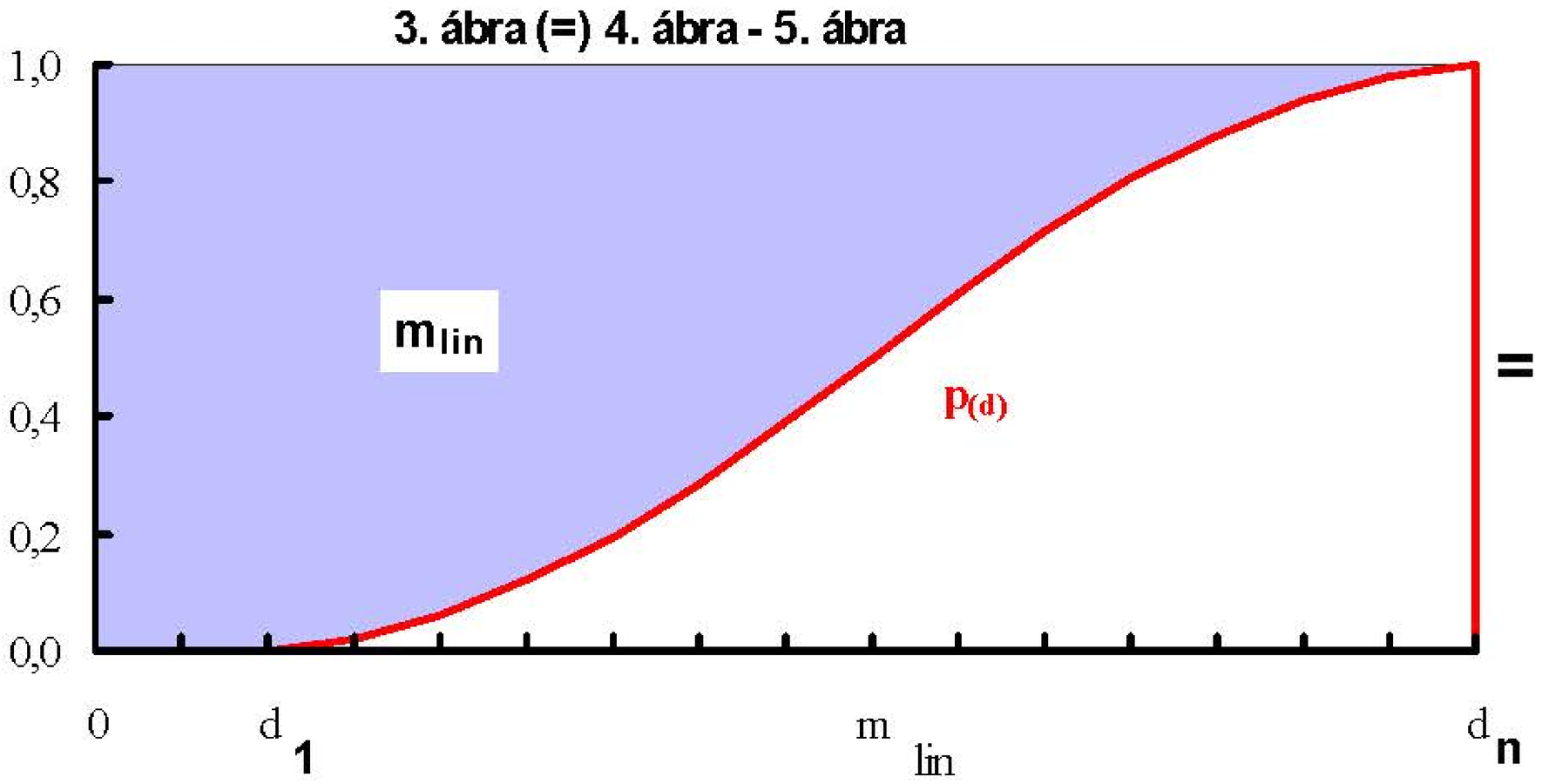
## Várhatóérték vagy lineáris finomsági modulus

A **várhatóérték,** vagy más néven a lineáris finomsági modulus azonos a **lineáris beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe $d=0$ és $d_n$ határú intervalluma feletti $m_{lin}$ területtel (*2. egyenlet és 3.-5. ábrák*):

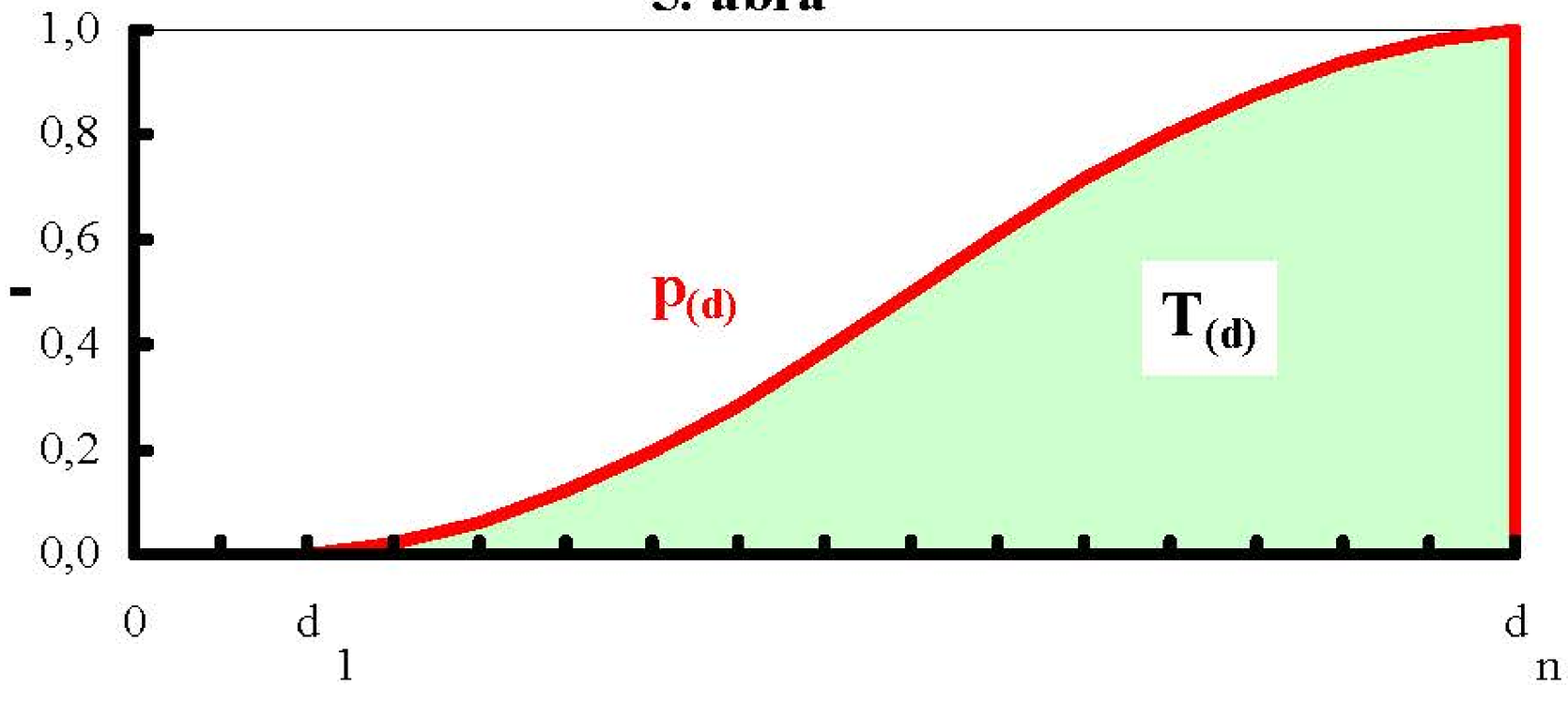
$$m_{lin} = \nu_1 = \Psi_0 = \int_{d_1}^{d_n} d^* p'.dd = \int_{0}^{d_n} dd - \int_{d_1}^{d_n} p.dd = d_n - T_{(d)} =$$

$$= \frac{1}{200} * \left[100 * (d_{n-1} + d_n) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i^{\%} * (d_{i-1} - d_{i+1})\right] \quad [mm] \qquad (2)$$

A *2. egyenlet* levezetéséhez szükséges $T_{(d)}$ kifejezés az *1. egyenletből* $\delta=d$ helyettesítéssel származtatható.



**5. ábra**




Ugyanis a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett *n*-edrendű $\nu_n$ nyomatéka:

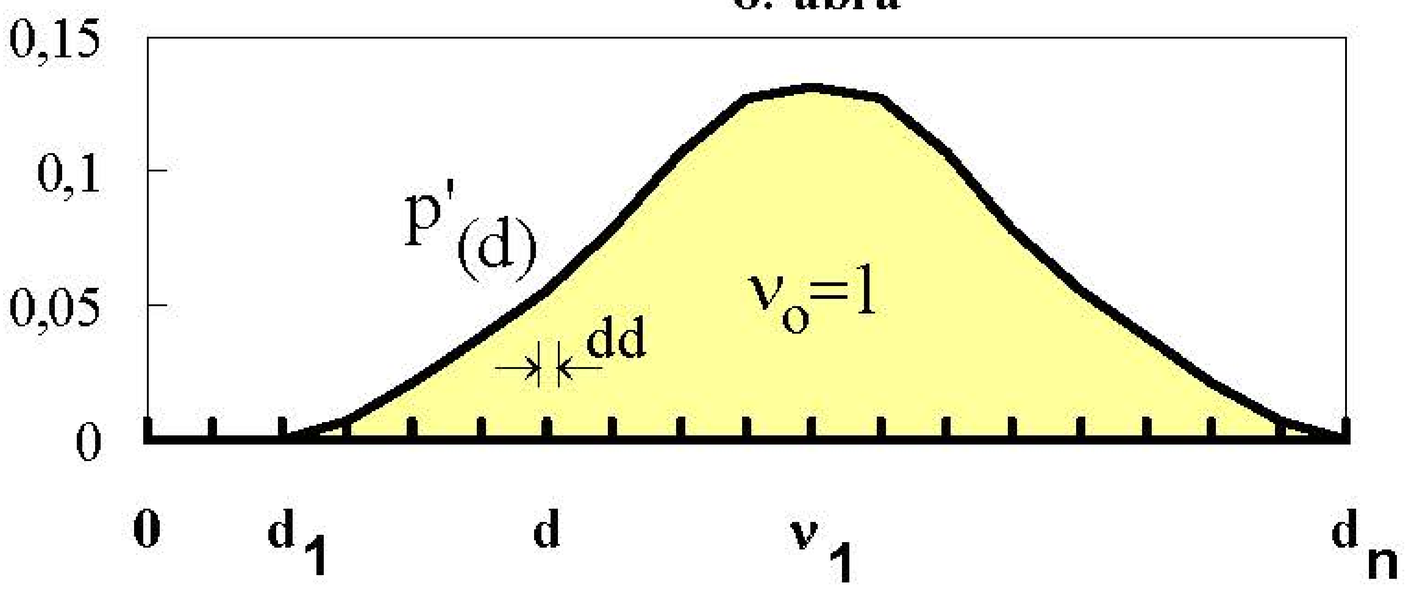
$$\upsilon_n = \int_{d_1}^{d_n} d^n * p'.dd \qquad \left[mm^n\right]$$

és a $p_{(d)}$ eloszlásfüggvény feletti területnek az ordinátatengelyre vett *(n-1)*-edrendű $\Psi_{n-1}$ nyomatéka (ha *n* nem negatív szám):

$$\Psi_{n-1} = \int_{0}^{d_n} d^{n-1} * (1- p).dd \qquad \left[mm^n\right]$$

A definícióból következik, hogy $\nu_0$ nem más, mint a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti terület, és értéke $\nu_0=1$ (*6. ábra*).

**6. ábra**




Továbbá, ha $n\neq0$, illetve, ha $n=1$ akkor:

$$\upsilon_{n\neq 0} = n * \Psi_{n-1} \qquad \left[mm^n\right] \qquad \textit{és} \qquad \upsilon_1 = \Psi_0 = m_{lin} \qquad \left[mm\right]$$

azaz az utóbbi egyben a lineáris finomsági modulus definíciója is.

## Szórásnégyzet

Leegyszerűsítve mondhatjuk, hogy a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény és a hozzá tartozó $p_{(d)}$ eloszlásfüggvény *várhatóértékével* és *szórásnégyzetével* jellemezhető. Láttuk, hogy a *várhatóérték* a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett $\nu_1$ elsőrendű nyomatékával egyenlő.

A **szórásnégyzet** a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett $\mu_2$ másodrendű centrális nyomatéka. Bizonyítható, hogy a szórásnégyzet, azaz a $\mu_2$ másodrendű centrális nyomaték egyenlő a $\nu_2$ másodrendű nyomaték és a $\nu_1$ elsőrendű nyomaték négyzetének különbségével, ami nem más, mint a lineáris beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe feletti terület - az ordinátatengelyre vett - kétszeres $\Psi_1$ elsőrendű nyomatékának és a várhatóérték négyzetének különbsége [1]:

$$\sigma^2 = \mu_2 = \nu_2 - \nu_1^{\,2} = 2 * \Psi_1 - m_{lin}^{\,2} \qquad [mm^2]$$

ahol esetünkben $n=2$ alkalmazása mellett, $\mu_n$ általánosságban a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett $n$-edrendű centrális nyomatéka:

$$\mu_n = \int_{d_1}^{d_2} (d - \nu_1)^n * p'.dd \qquad [mm^n]$$

Ha a $p$ eloszlásfüggvényt nem lineáris, hanem **négyzetes beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor a kétszeres $\Psi_1$ elsőrendű nyomaték helyébe nulladrendű nyomaték lép, azaz a **szórásnégyzet** egyenlő a **négyzetes beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe $d=0$ és $d_n^{\,2}$ határú intervalluma feletti ($d_n^{\,2}$-$T_{(d^2)}$) terület és a várhatóérték négyzete különbségével, azaz

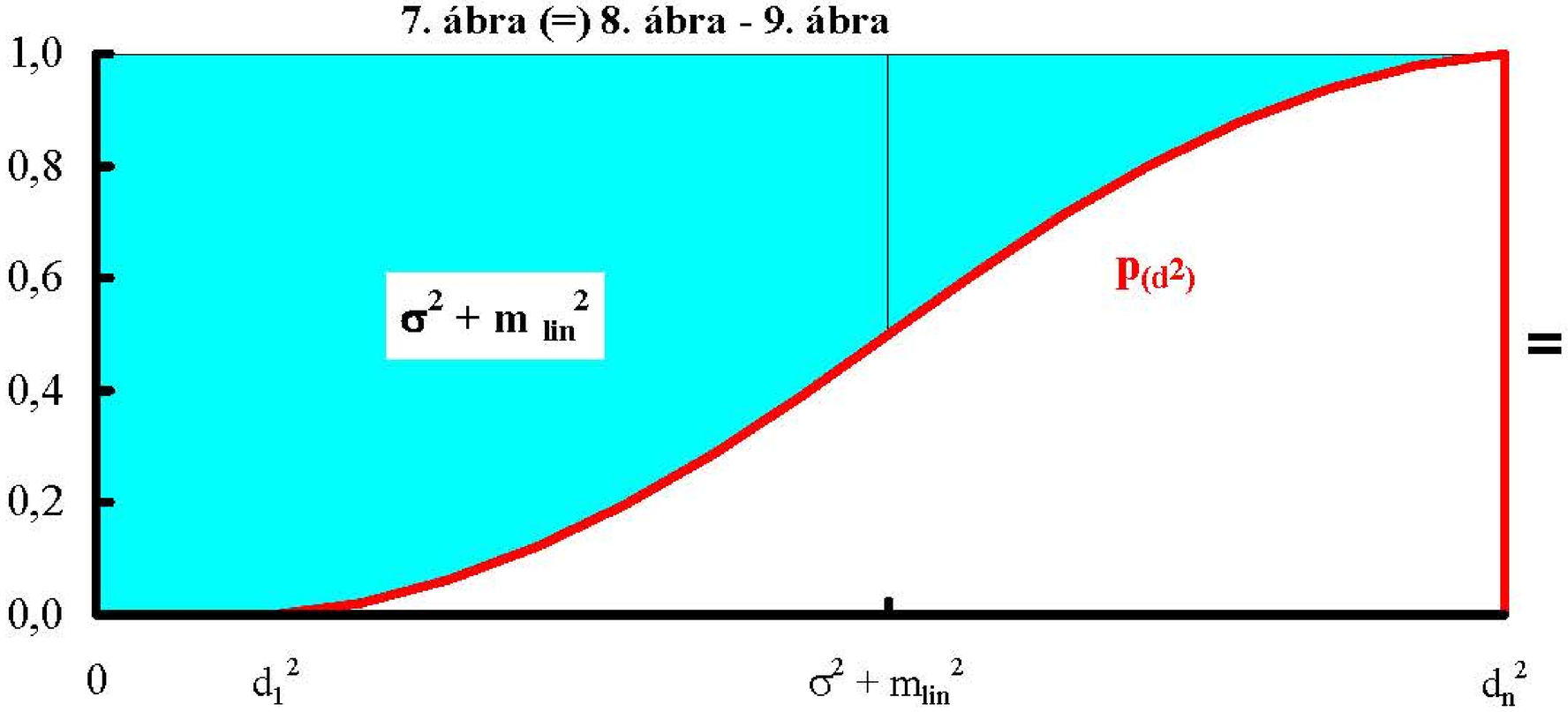
$$\sigma^2 = d_n^{\,2} - T_{(d^2)} - m_{lin}^{\,2} =$$

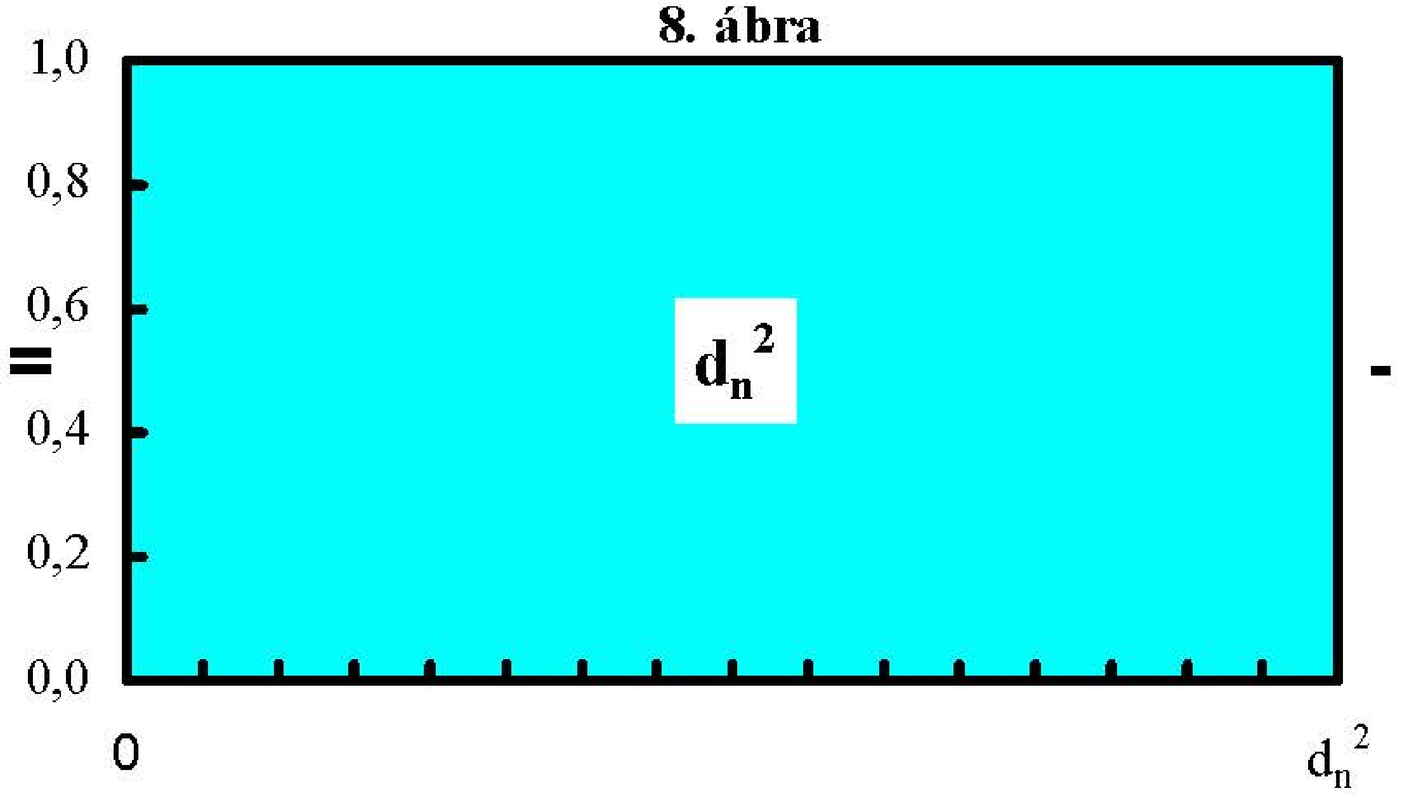
$$= \frac{1}{200} * [100 * (d_{n-1}^{\,2} + d_n^{\,2}) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i^{\,\%} * (d_{i-1}^{\,2} - d_{i+1}^{\,2})] - m_{lin}^{\,2} \qquad [mm^2] \qquad (3)$$

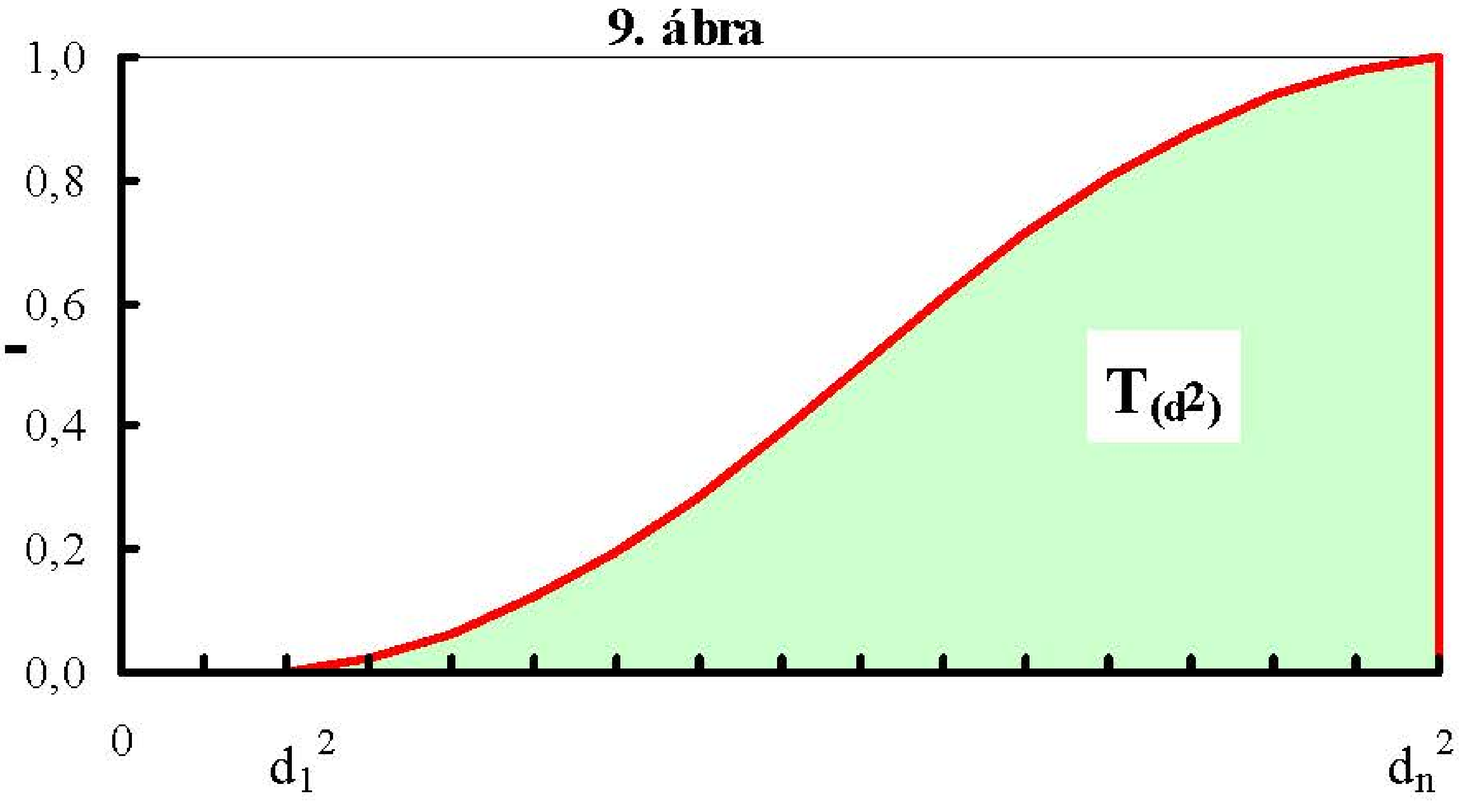
A *3. egyenlet* tartalma a *7.-9. ábrákkal* kifejezve:

$\sigma^2$ (=) 7. ábra - $m_{lin}^{\,2}$ = 8. ábra - 9. ábra - $m_{lin}^{\,2}$

7. ábra (=) 8. ábra - 9. ábra




A $\sigma^2$ szórásnégyzet felhasználásával kiszámítható:

- a $\sigma$ *szórás*, mint a szórásnégyzet négyzetgyöke, [mm],
- a *relatív szórásnégyzet*, mint a szórásnégyzet és a lineáris finomsági modulus négyzetének hányadosa, amely nevezetlen szám:

$$\frac{\sigma^2}{m_{lin}^2}$$

- a $\sigma/m_{lin}$ *relatív szórás*, mint a relatív szórásnégyzet négyzetgyöke, amely nevezetlen szám. A relatív szórás azonos a szemnagyság - mint valószínűségi változó - *variációs együtthatójával.*

## Logaritmikus várhatóérték és átlagos szemnagyság

A szemeloszlásgörbe várható értékét vagy más néven lineáris finomsági modulusát lineáris beosztású abszcisszatengelyű koordinátarendszerben értelmeztük. Ha a szemeloszlásgörbét tízes alapú **logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor az előzőekben tárgyalt várhatóérték helyébe a **logaritmikus várhatóérték** lép. Minthogy a logaritmikus várhatóérték nem más, mint az átlagos szemnagyság tízes alapú logaritmusa ($lg\ d_{átlag}$), következik, hogy felhasználásával az **átlagos szemnagyság** kiszámítható. Az átlagos szemnagyságot tehát tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengelyű koordinátarendszerben értelmezzük, és számértéke eltér a lineáris finomsági modulus számértékétől.

A várhatóértéket meghatározása szerint az eloszlásfüggvény feletti terület fejezi ki. A zérus kezdőértékű lineáris abszcisszatengely felett e terület határai $d=0$ és $d_n$, azaz az ordinátatengely és a legnagyobb szemnagyság.

Logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén a legnagyobb szemnagyság a ($lg\ d_n$) helyen található, de az ordinátatengely helyének értelmezése ennél bonyolultabb, mert az abszcisszatengely kezdőértéke - mivel $(lg\ 0)=-\infty$ - az eddigiektől eltérően zérustól különböző szám kell, hogy legyen. Az ordinátatengely szerepét a $(lg\ 1)=0$ értékű abszcisszarendező veszi át, amely két térfélre osztja a koordinátarendszert. Minthogy az egynél kisebb számok logaritmusa zérusnál kisebb értékű, azaz negatív előjelű, a $(lg\ 1)=0$ értékű abszcisszarendezőtől balra eső térfél előjele negatív lesz. A $d_1<1$ mm legkisebb szemnagyságú szemeloszlásgörbe a legnagyobb szemnagyság értékétől függően e negatív térfélben helyezkedik el (ha $d_n<1$ mm), vagy a pozitív térfélből oda átnyúlik (ha $d_n>1$ mm). Ez utóbbi lehetőséget tekinthetjük a gyakorlatban leginkább előforduló általános esetnek.

Így a logaritmikus várhatóértékkel kapcsolatban nem beszélhetünk görbe feletti, hanem csak görbével határolt területről. Eszerint a **logaritmikus várhatóérték** azonos a logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt eloszlásfüggvénnyel határolt területtel, amely a $(lg\ 1)=0$ értékű abszcisszarendezőtől balra lévő negatív térfélben görbe alatti, az attól jobbra lévő pozitív térfélben görbe feletti részterület (*10. ábra*), amit a következőképpen lehet kifejezni:

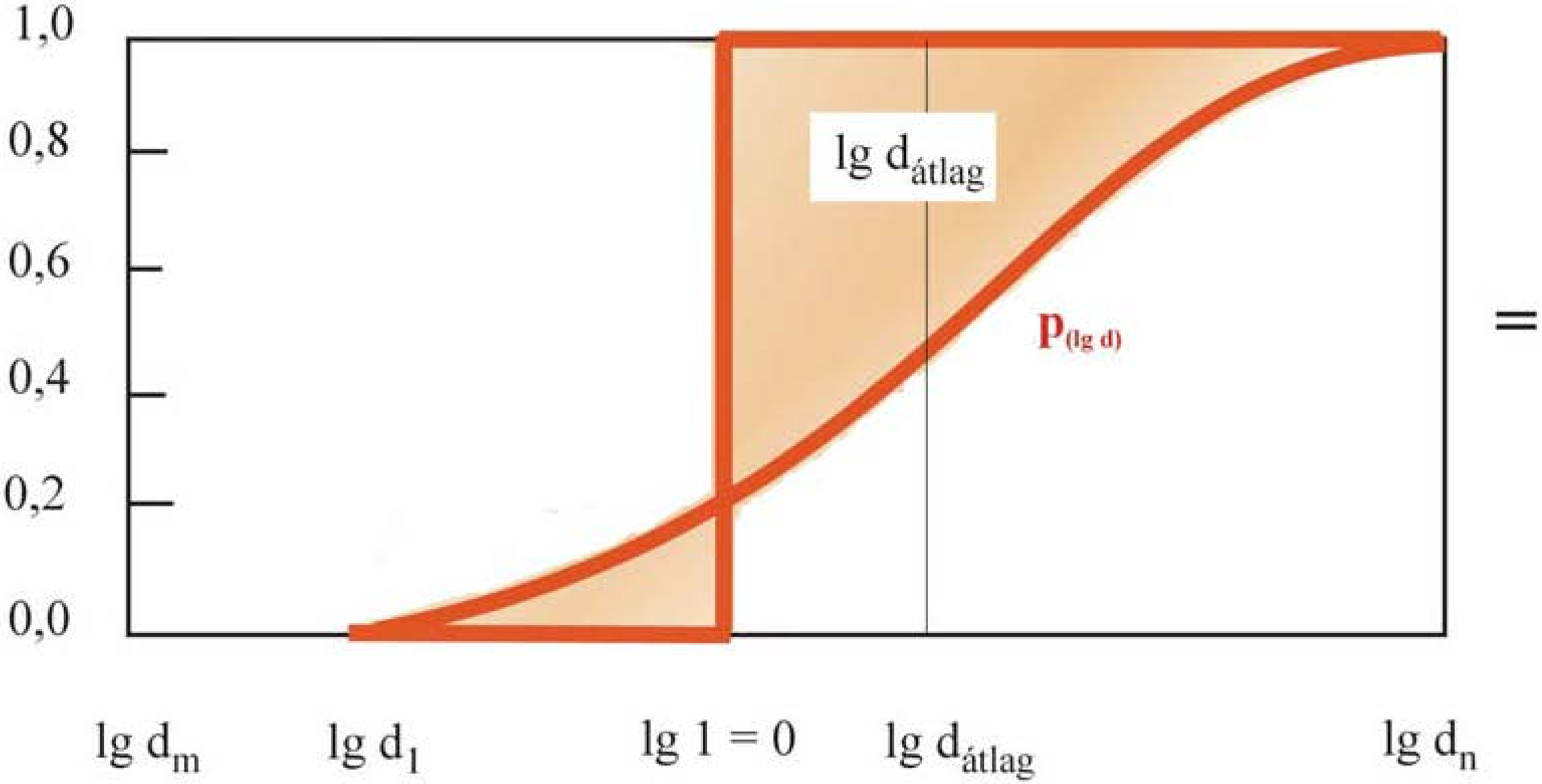
$$\lg d_{átlag} = \lg d_n - T_{(\lg d)} =$$

$$= \frac{1}{200} * \left[ 100 * (\lg d_{n-1} + \lg d_n) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i^{\%} * (\lg d_{i-1} - \lg d_{i+1}) \right] \qquad (4)$$

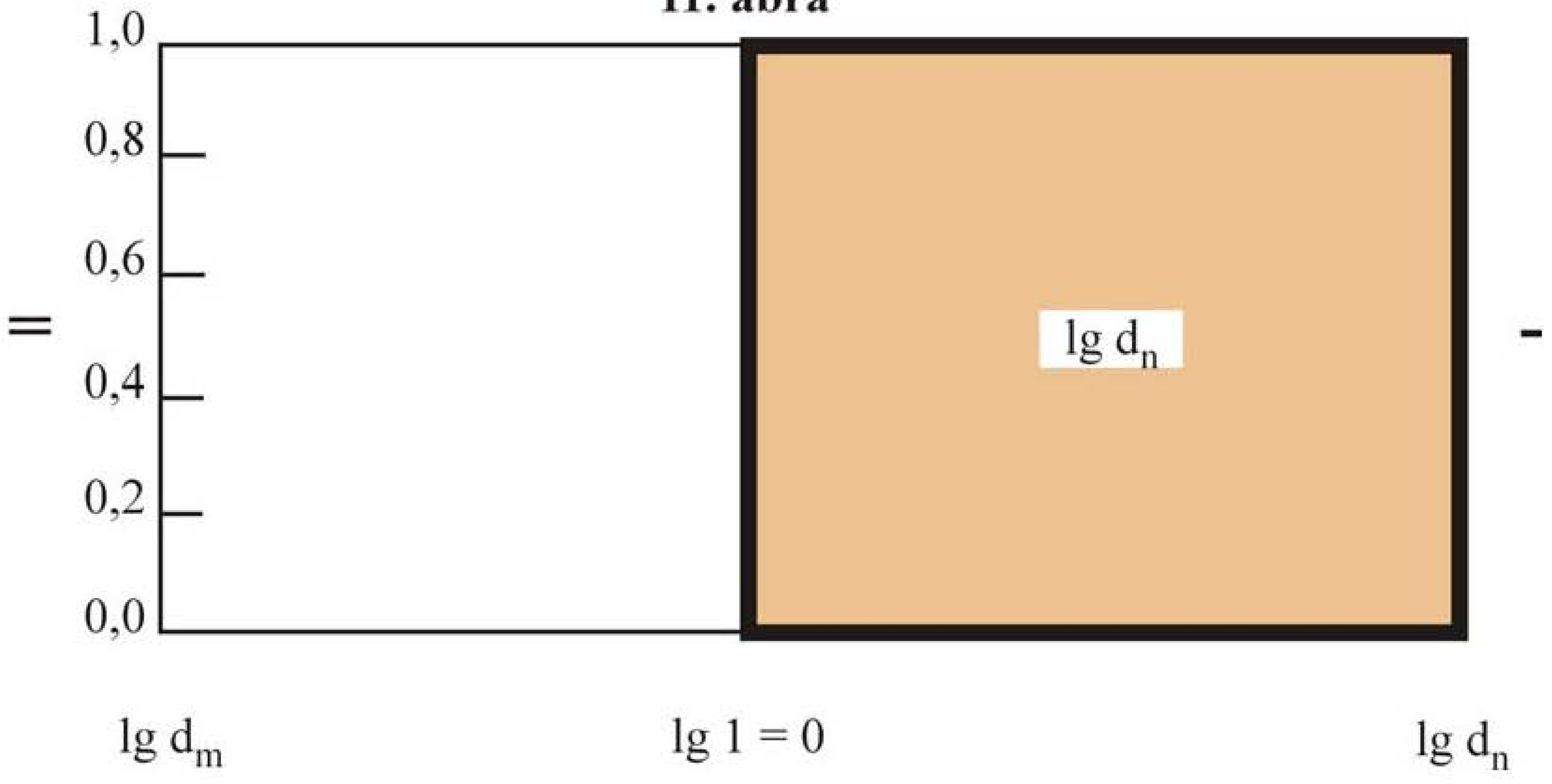
A *4. egyenletbe* a $d$ értékét mm-ben helyettesítjük be, a ($lg\ d_{átlag}$) értékét pedig nevezetlen számnak tekintjük.

A *4. egyenlet* tartalma a *10.-12. ábrákkal* kifejezve:
$\lg d_{átlag}$ (=) 10. ábra = 11. ábra - 12. ábra

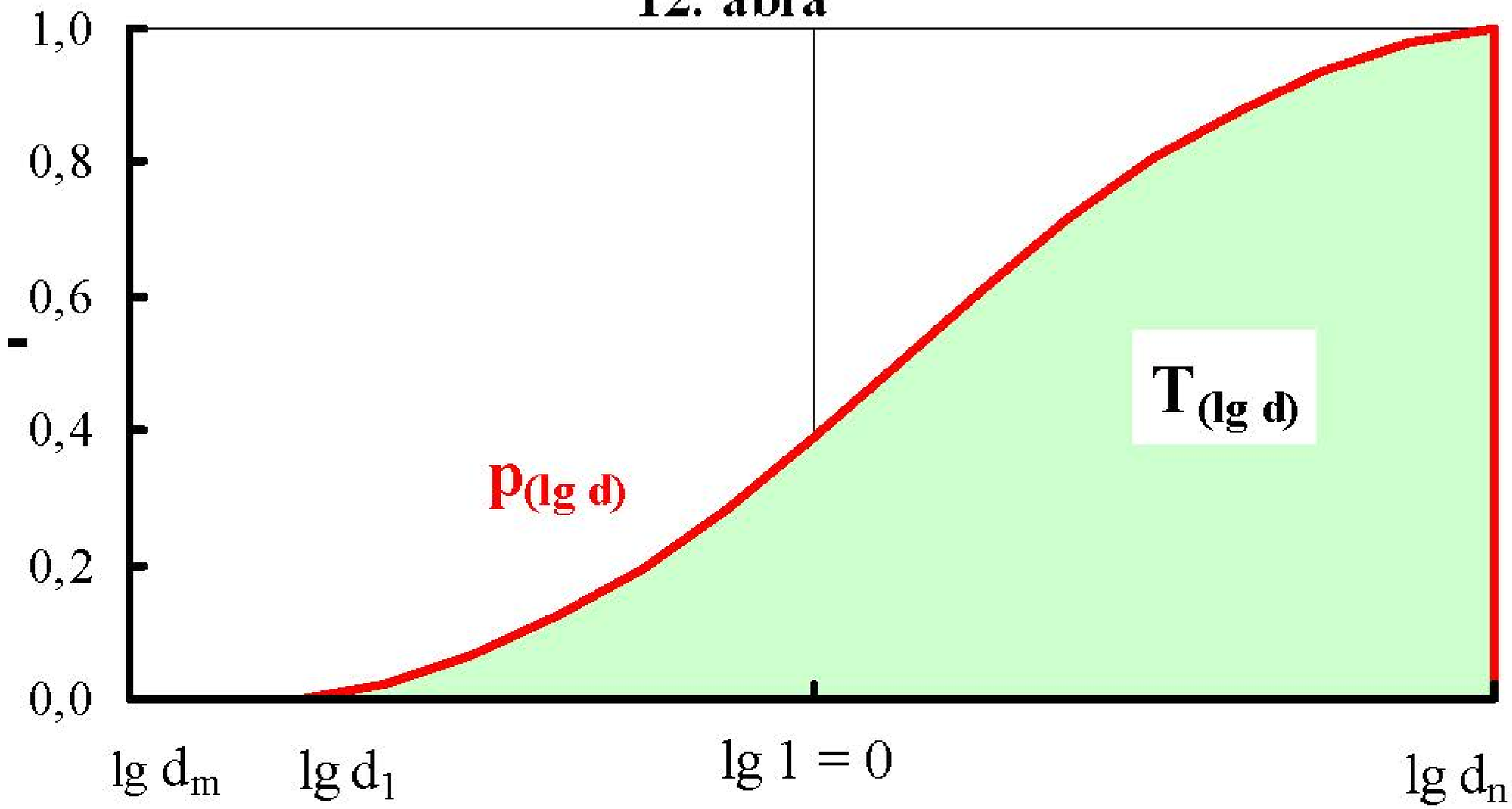
**10. ábra**




**11. ábra**



**12. ábra**




Az **átlagos szemnagyság** ($d_{átlag}$) a logaritmikus várhatóérték ($lg\ d_{átlag}$) numerusa, amelyet a *4. egyenlet* értékének meghatározása után számíthatunk ki:

$$d_{átlag} = 10^{\lg d_{átlag}} \qquad [mm] \qquad (5)$$

A *10. ábrán* kiemelt területet szemlélve belátható, hogy a ($lg\ d_{átlag}$) logaritmikus várhatóérték, és így a $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemnagyság is, független az abszcisszatengely ($lg\ d_m$) kezdőértékétől.

## *Hummel*-féle terület és logaritmikus finomsági modulus

A logaritmikus finomsági modulus a logaritmikus várhatóértékből származtatható. Levezetéséhez kell számítani az $F_{(lg\ d)}$ ***Hummel*-féle területet**, amely a klasszikus megfogalmazás szerint azonos a tízes alapú **logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe feletti területtel, amely az abszcisszatengely ($lg\ d_m$) kezdőértékéig terjed. A művelet úgy hajtható végre, hogy a ($lg\ d_{átlag}$) és a ($lg\ d_m$) által képviselt területek különbségét kell képezni, ami a ($lg\ d_m$) negatív előjele miatt számszakilag összeadást jelent:

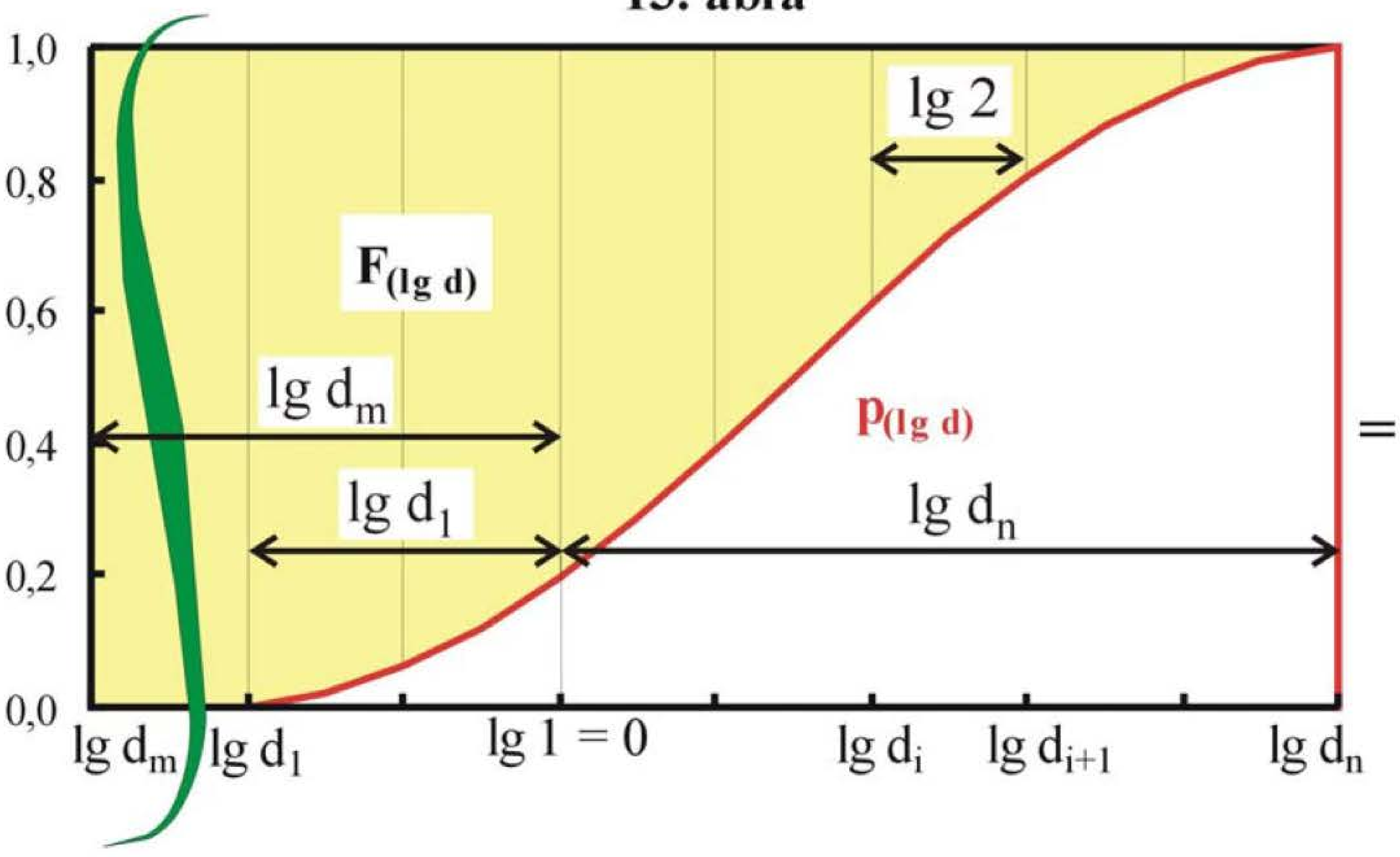
$$F_{(\lg d)} = \lg d_{átlag} - \lg d_m = m_{\lg} * \lg 2 \qquad (6)$$

A $d_{átlag}$ és $d_m$ értékek mértékegysége mm, az $F_{(lg\ d)}$ értéke nevezetlen szám.

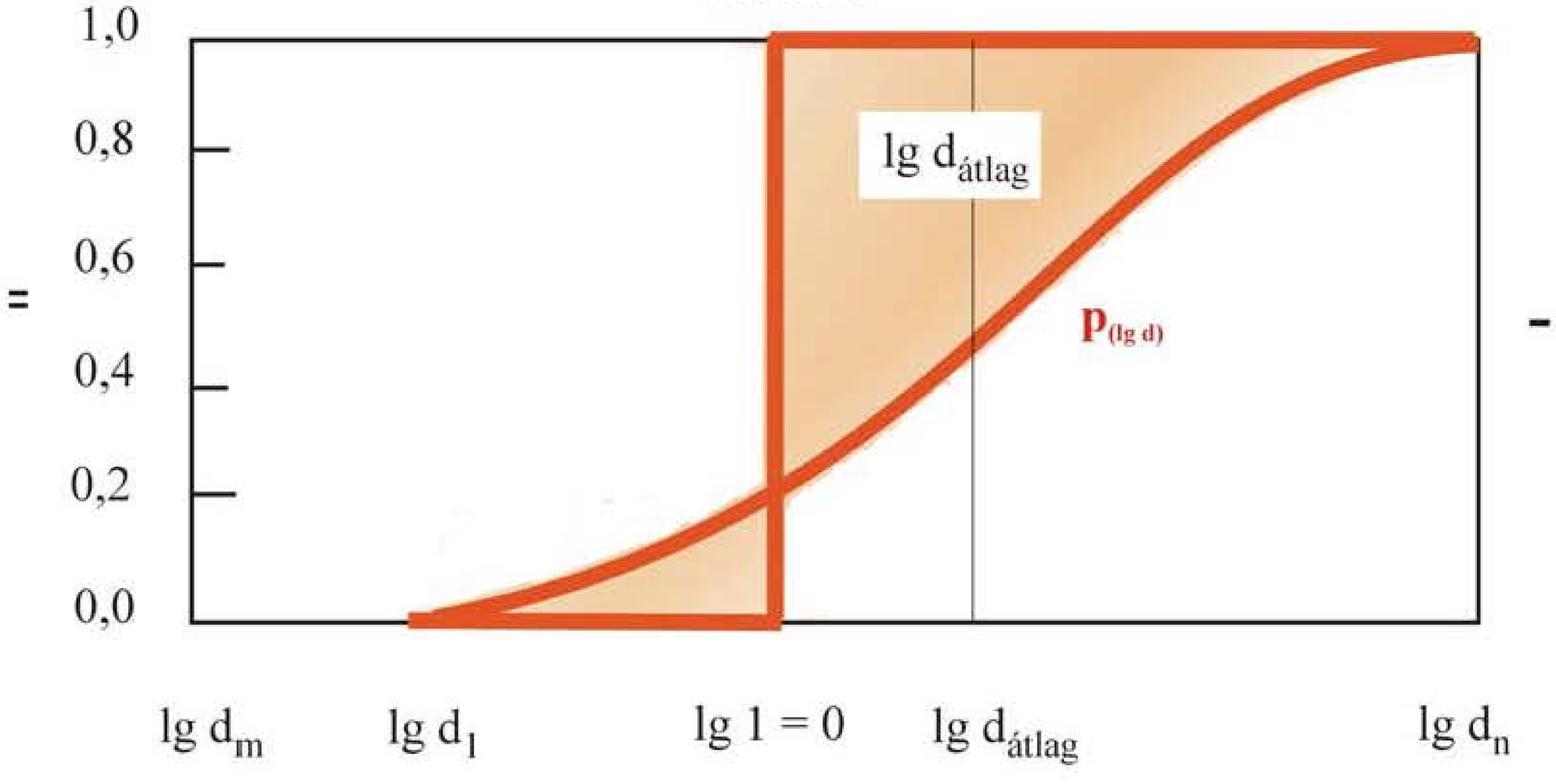
Az $m_{lg}$ a **logaritmikus finomsági modulus**.

A *6. egyenlet* tartalma a *10., 13., 14. ábrákkal* kifejezve:
$F_{(lg\ d)}$ (=) 13. ábra = 10. ábra - 14. ábra

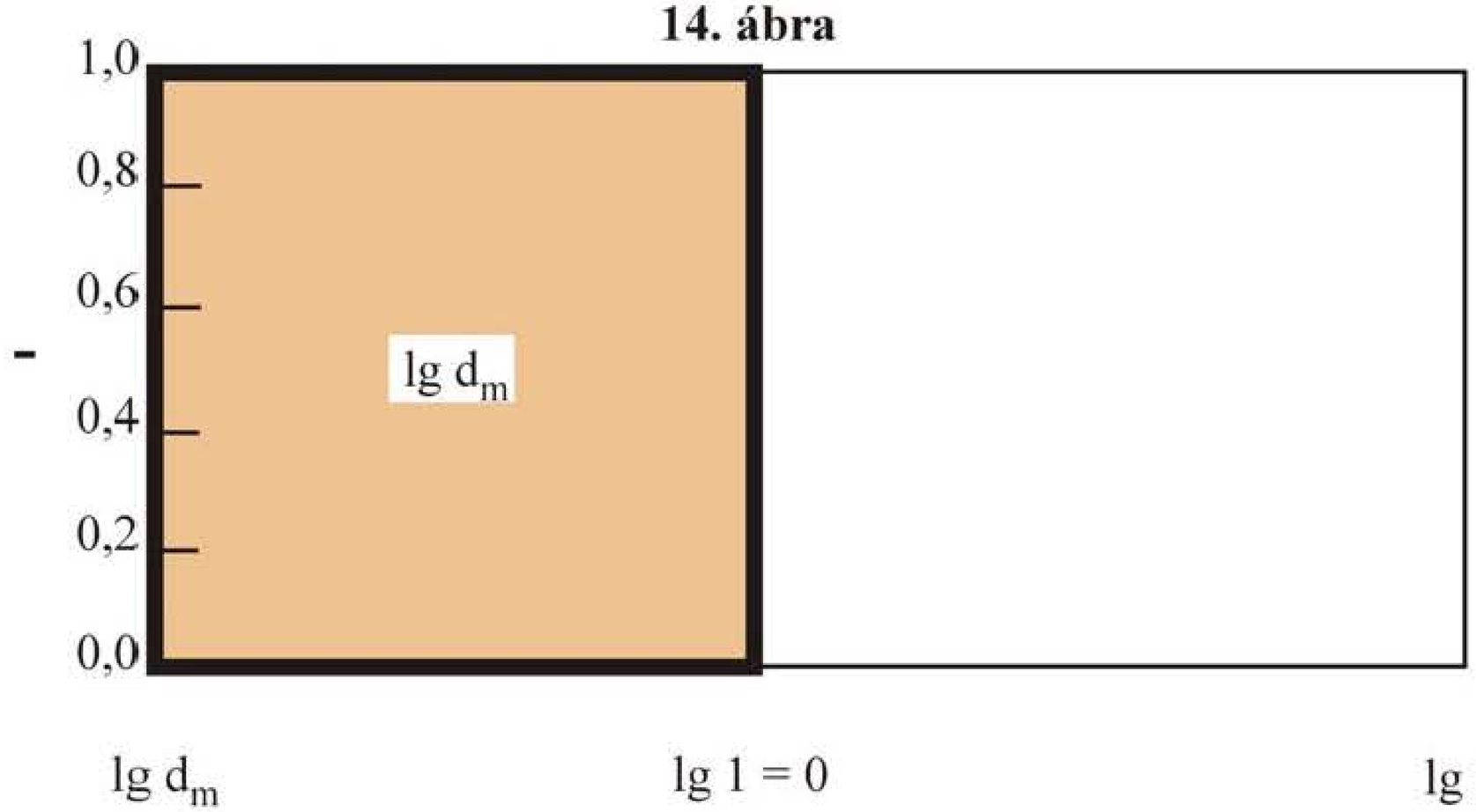
**13. ábra**



**10. ábra**




**14. ábra**




A *13. ábrán* jól lehet látni, hogy a **Hummel-féle terület** nagysága és következésképpen annak származékai, mint az alább tárgyalásra kerülő **logaritmikus finomsági modulusok**, jelentős mértékben függnek a Hummel-féle területet határoló *(lg $d_m$)* abszcisszatengely kezdőérték, illetve az abszcissza-kezdőértéknek nevezett $d_m \neq 0$ szemnagyság megállapodás tárgyát képező értékétől.

Milyen kár, hogy a XX. század első felében élt híres betonkutatók, így az amerikai ***Duff A. Abrams*** 1918-ban, a német ***Alfred Hummel*** 1930-ban, majd neves követőik, mint a német ***M. Spindel*** 1931-ben, az osztrák ***O. Stern*** 1932-ben, és később mások is, a beton adalékanyagok szemeloszlását a - gyakorlat számára kétségtelenül szemléletes és jól kezelhető - görbe feletti $F_{(lg\ d)}$ területtel hozták összefüggésbe és nem az abszcisszatengely kezdőértéktől független $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemnagysággal jellemezték.

*Abrams* a szemeloszlás vizsgálathoz az amerikai *Tyler-féle* szitasorozatot használta, amelynek jellemzője, hogy a legfinomabb szita lyukbősége, azaz az abszcissza-kezdőérték *0,147* mm, és a többi szita lyukbősége mindig a sorozatban előtte álló szitáénak a kétszerese, azaz $0{,}147*2^{(k-1)}$, ahol $k = 1, 2, 3, \ldots, n$. Ezt logaritmizálva a szitalyukbőségek helye a logaritmikus beosztású abszcisszatengelyen: $(\lg 0{,}147) + (k-1)*(\lg 2)$, azaz egymástól való távolságuk mindig ($\lg 2$), tehát konstans (*13. ábra*).

Felhasználva a *Tyler-féle* abszcisszatengely beosztásnak ezt a tulajdonságát, a *Hummel-féle* $F_{(lg)}$ terület felírható olyan részterületek összegeként, amelyek mindegyikének alaphossza ($\lg 2$), magasságuk pedig a részterületek oldalhosszából, azaz a $(1-p_i)$ ordinátametszékekből kiszámítható (*2. ábra, 13. ábra*). A *6. egyenlet* felírásakor ezt a módszert követtük:

$$F_{\lg} = f_{(1-p_i)} * \lg 2 = m_{\lg} * \lg 2 \qquad ahol \qquad m_{\lg} = \frac{F_{\lg}}{\lg 2} = f_{(1-p_i)} \qquad (7.1)$$

a **logaritmikus finomsági modulus**. Értéke nevezetlen szám.

Ettől bizonyos mértékben eltér a termékminősítés gyakorlata, amely az ugyancsak ($lg2$) alaphosszakhoz tartozó $(1-p_i)$ ordinátametszékeket - azaz a duplázódó lyukbőségű szitasorozattal végzett szitálás göngyölített relatív tömegmaradékait - nem a részterületek oldalhosszának, hanem magasságának tekinti, és akkor az *F Hummel-féle* terület:

$$F = \sum_{i=1}^{n}(1-p_i) * \lg 2 = m * \lg 2 \qquad ahol \qquad m = \sum_{i=1}^{n}(1-p_i) \qquad (7.2)$$

a **finomsági modulus termékminősítő értéke**, amit egyszerűen csak finomsági modulusnak szoktak nevezni. Számértéke valamelyest eltér a fenn bemutatott logaritmikus finomsági modulus számértékétől, de a gyakorlatban az eltérést nem szokás figyelembe venni. Értéke ugyancsak nevezetlen szám.

A *Tyler-féle* szitasorozatot és abszcisszatengely beosztást az *Abrams* utáni idők betonkutatói is lényegében megtartották, de a legfinomabb szita lyukbőségeként, azaz abszcissza-kezdőértékként főképp Európában, az itteni hosszmértékeknek és egyéb szempontoknak jobban megfelelő, egyéb számértékeket választottak. Ezekről az *1. táblázatban* adunk áttekintést.

| 1. táblázat | |
|---|---|
| Forrás megnevezése (kutató, szabvány, műszaki előírás) | Abszcissza-kezdőérték $d_m$ [mm] |
| Finomsági modulus számítása | |
| Abrams, 1918 | 0,147 |
| Hummel, 1930 | 0,1 |
| Spindel, 1931 | 0,001 |
| Stern, 1932 | 0,001 |
| Palotás*, 1952 | 0,1 |
| MSZ 4713:1955 | 0,1 |
| Palotás*, 1961 | 0,15 |
| MSZ 4713-3:1977 | 0,063 |
| MSZ 18288-1:1983 | 0,063 vagy 0,125 |
| MSZ EN 12620:2003 | 0,125 |
| MSZ 4798-1:2004 | 0,063 |
| Könnyű adalékanyagok *Hummel-féle* szétmorzsolódási tényezőjének számítása | |
| Hummel, 1954 | 1,0 |
| IME 37:1959 | 1,0 |
| MSZ 7030:1962 | 1,0 |
| MSZ 18287-3:1983 | 0,5 |

* ***Dr. Palotás László*** (1905-1993.) akadémikus, a Budapesti Műszaki Egyetem egykori, neves professzora

A logaritmikus finomsági modulus és a termékminősítő finomsági modulus értékét tehát jelentősen befolyásolja az abszcissza-kezdőérték nagysága, amelyet ma,

hazánkban, a betontechnológiában, ha $d_1 \geq d_m$, gyakorlatilag és általában - egyéb feltételek hiányában - mindig $d_m = 0{,}063$ mm-nek veszünk fel.

Az abszcissza-kezdőérték nagysága természetesen a *Hummel-féle* szétmorzsolódási tényezőt is befolyásolja, ez azonban nem szemeloszlás-jellemző, hanem szemhalmaz-szilárdsági mutatószám, amely jelenlegi vizsgálódásainknak nem képezi közvetlen tárgyát.

## Térfogati fajlagos felület és (tömegi) fajlagos felület

A **térfogati fajlagos felület** az egységnyi testtérfogatú szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemhalmaz szemei külső felülete összegének és a szemek - többnyire pórusokat is tartalmazó, tehát a külső felület által határolt - térfogata összegének hányadosa.

A gömb vagy kocka alakú, tehát idealizált szemalakú szemek halmazának $f_v$ térfogati fajlagos felületét kifejezhetjük, mint a $p'_{(d)}$ gyakoriságfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű $\nu_{-1}$ nyomatéka hatszorosát:

$$f_v = 6 * \nu_{-1} = 6 * \int_{d_1}^{d_n} d^{-1} * p'.dd \qquad [mm^{-1}]$$

Bevezetve az $u=d^{-1}$ [$mm^{-1}$] jelölést és a fenti egyenletbe behelyettesítve megfelelőit, bizonyítható, hogy

$$f_v = 6 * \nu_{-1} = 6 * \left( \int_0^{u_n} du + \int_{u_n}^{u_1} p_{[u]}.du \right) \qquad [mm^{-1}]$$

Eszerint a térfogati fajlagos felület a **reciprok beosztású abszcisszatengellyel** rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlásgörbe alatti terület hatszorosával egyenlő, azaz

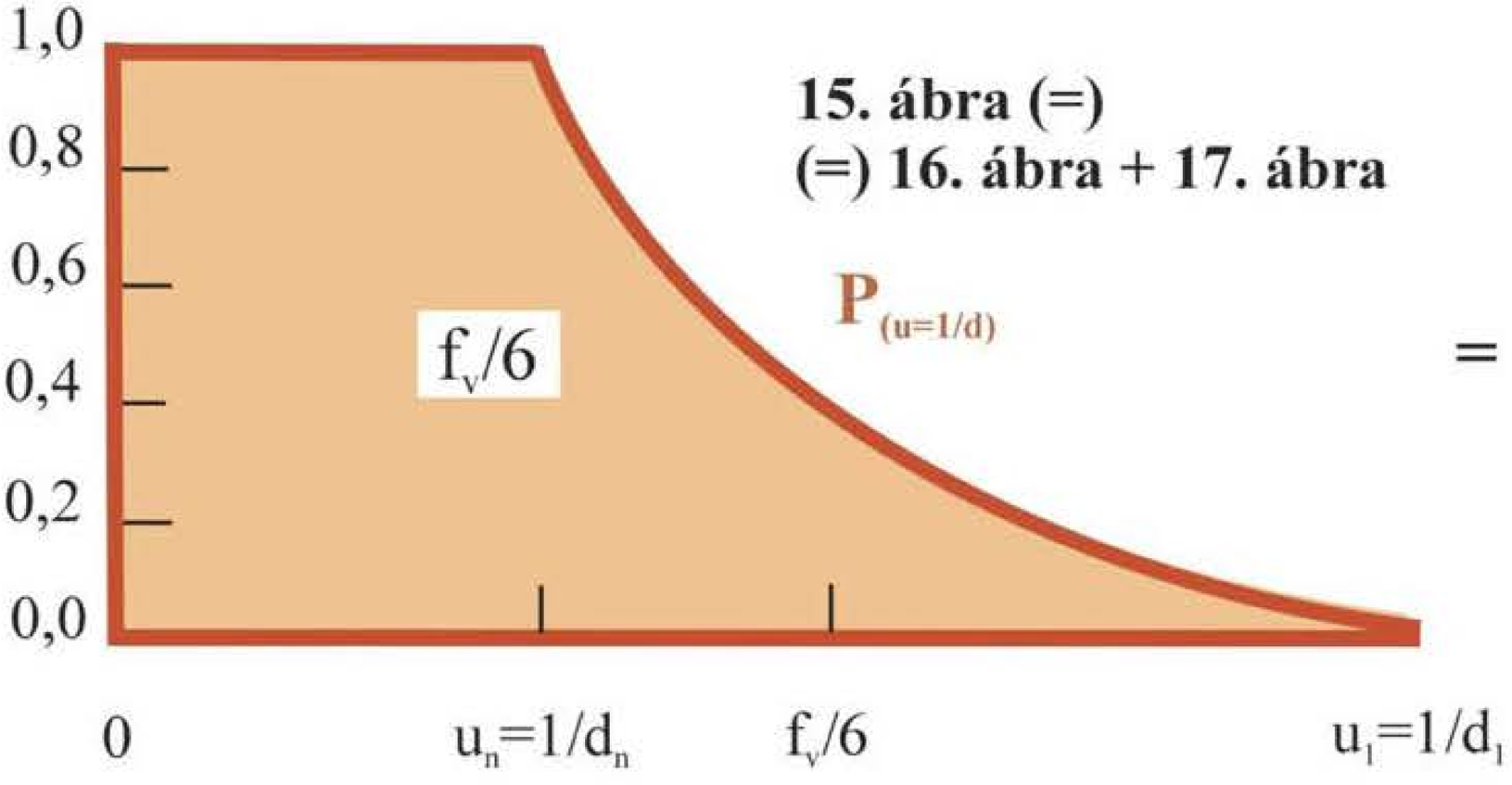
$$f_v = 6 * (d_n^{-1} + T_{(d^{-1})}) =$$

$$= \frac{3}{100} * \left[ 100 * (d_{n-1}^{-1} + d_n^{-1}) + \sum_{i=2}^{n-1} p_i\,\% * (d_{i-1}^{-1} - d_{i+1}^{-1}) \right] \qquad [mm^{-1}] \qquad (8)$$

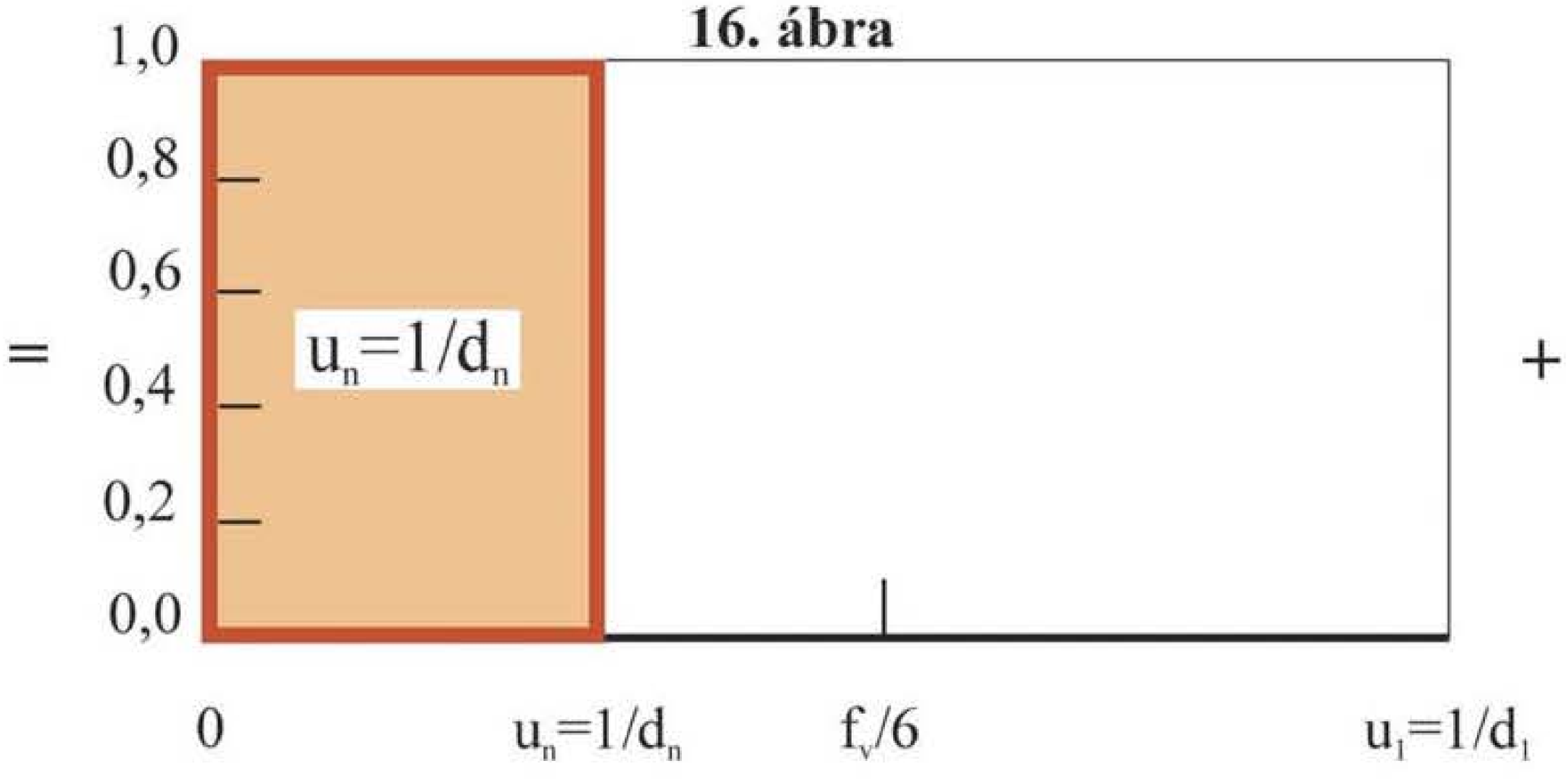
A *8. egyenlet* tartalma a *15.-17. ábrákkal* kifejezve:

$f_v$ (=) 6*{15. ábra} = 6*{16. ábra + 17. ábra}

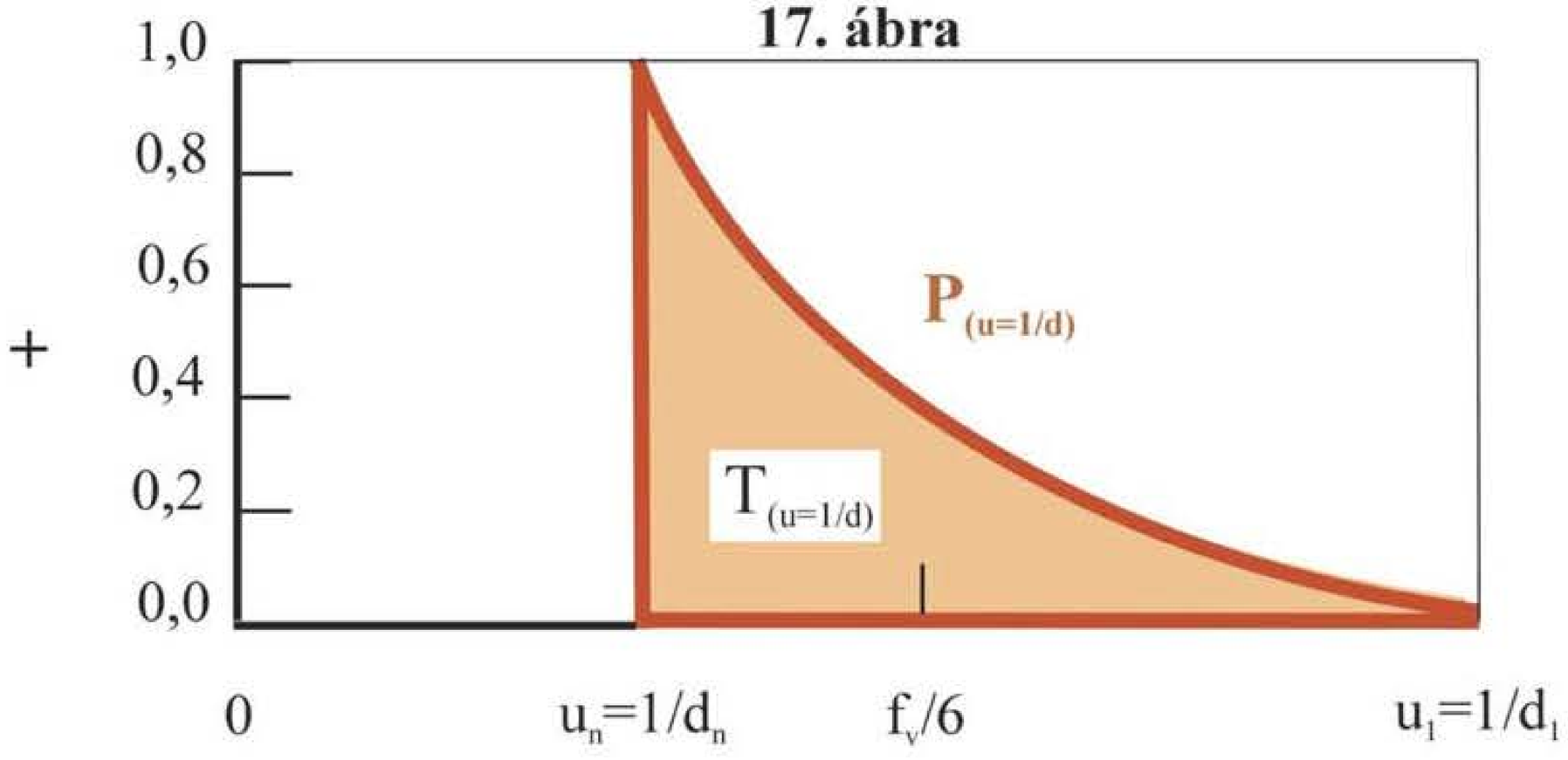
**15. ábra (=)**
**(=) 16. ábra + 17. ábra**




**16. ábra**




**17. ábra**



A szemhalmaz térfogati fajlagos felületének értéke nagyon érzékeny a finomszemek nagyságára és mennyiségére. Például szélső esetként a $d_1=0$ legkisebb szemnagyságú szemhalmazok térfogati fajlagos felületének számítása kifejezetten nehézségekbe ütközik, mert ha $d_1=0$, akkor $u_1=\infty$ és $f_v=\infty$, azaz a térfogati fajlagos felület értéke végtelen nagyra adódik. Ezért feltételül szoktuk szabni, hogy $d_1 \geq 0{,}001$mm illetve $u_1 \leq 1000$ mm$^{-1}$ kell, hogy legyen. Bár e feltétel önkényes, értéke azért fogadható el, mert a beton-adalékanyagban a legfinomabb szemek az agyag szemek, (amelyek szemnagysága 0,002 mm-nél kisebb,) és ezek mennyiségét egyébként is tudatosan korlátozzuk.

Az építőanyagipari gyakorlatban a szemhalmazok egységnyi mennyiségére eső felületet a *térfogati fajlagos felület* helyett előszeretettel fejezik ki a **tömegi fajlagos felülettel**, amit egyszerűen **fajlagos felületnek** neveznek. Ennek méréstechnikai oka van, míg ugyanis a térfogati fajlagos felület egy számított szemeloszlás-jellemző, addig a fajlagos felület értékét meg lehet mérni. A fajlagos felület mértékegysége m$^2$/kg, ami 1000 mm$^2$/g-nak felel meg.

Az $f$ fajlagos felület és az $f_v$ térfogati fajlagos felület kapcsolatát a (9) összefüggés írja le.

$$f = 10^3 * \frac{f_v}{\rho_T} \qquad [m^2/kg] \qquad (9)$$

ahol:

$f_v$ = a térfogati fajlagos felület [1/mm]

$\rho_T$ = a kiszárított állapotú szemhalmaz szemeinek átlagos testsűrűsége [kg/m$^3$]

A fajlagos felület az anyag testsűrűségének is függvénye, ezért - a térfogati fajlagos felülettel ellentétben - nem tekinthető kifejezetten szemeloszlás-jellemzőnek, hiszen a fajlagos felület csak az azonos testsűrűségű szemek halmazai felületének közvetlen összevetésére alkalmas.

Ennek érzékeltetésére vegyünk néhány golyót, mérjük meg az átmérőjét és a tömegét, számítsuk ki a testsűrűségét, a fajlagos felületét, és a térfogati fajlagos felületét. A vizsgált golyók képe a következő fényképeken látszik.

4.
10.
11.
7.
6.
9.
5.
8.
1.
2.
3.

1.
2.
3.

4.
6.
5.
7.

8.
9.

A mérés és számítás adatait a *2.1. táblázatban*, majd ennek sorait az átmérő, a tömeg, a testsűrűség, a fajlagos felület szerint növekvő sorba rendezve a *2.2. - 2.5.táblázatokban* tüntettük fel.

A 2.1. - 2.5. táblázatokat erre a mondatra kattintva tekintheti meg.

A táblázatok jól szemléltetik, hogy növekvő átmérőhöz mindig csökkenő térfogati fajlagos felület tartozik (*2.2. táblázat*), míg a fajlagos felületre nagy hatással van a testsűrűség, így a fajlagos felület értéke különböző testsűrűségek esetén, közel azonos átmérők mellett is különböző lehet (például az égerfa és a paesina mészkő, vagy a gumilabda, a pingponglabda és a szerpentin esete), illetve a nagy testsűrűséghez fordított átmérő viszony esetén is kis fajlagos felület tartozik (például a 4. jelű kőrisfa és az acélgolyók esete).

Mint a térfogati fajlagos felület, úgy a (tömegi) fajlagos felület is a finomszemekre érzékeny jellemző, ezért a **fajlagos felület laboratóriumi mérését** finom eloszlású anyagokon, főképp porokon szokták elvégezni. A mérésre iparáganként számtalan módszert alakítottak ki. Az építőanyagiparban a cementek őrlésfinomságát lehet a fajlagos felülettel jól kifejezi. [Cementipari kézikönyv, szerkesztette *Talabér József*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966. vagy *Palotás László*: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.]

A cementek fajlagos felület mérésének legegyszerűbb és legelterjedtebb módszere a légáteresztő képesség vizsgálatán alapú *Blaine eljárás*, amelynek leírása az MSZ EN 196-6:1992 illetve a már hatálytalan MSZ 523-2:1975 szabványban megtalálható. A *Blaine készülékkel* mért értékek 1994-ig termékminősítő értékek voltak (MSZ 4702-2:1981, MSZ 4702-4:1982), ma már nem azok (MSZ ENV 197-1:1994, majd MSZ 4702-2:1997). A fényképen a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének hagyományos kivitelű Blaine készüléke látható. (A készüléknek létezik automata változata is, de a fényképe nem sokat mond.)

**2.1. táblázat: Különböző golyók (tömegi) fajlagos felületének és térfogati fajlagos felületének összevetése**

| Jel és megnevezés | Átmérő | Felület | Térfogat | Tömeg | Testsűrűség | Fajlagos felület | Térf. fajl. felület |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | $mm^2$ | $mm^3$ | g | $kg/m^3$ | $m^2/kg$ | $mm^2/mm^3$ |
| 1. Paesina mészkő | 40,6 | 5178 | 35041 | 86,05 | 2456 | 0,0602 | 0,14778 |
| 2. Szerpentin | 38,4 | 4632 | 29648 | 75,21 | 2537 | 0,0616 | 0,15625 |
| 3. Fluorit | 31,5 | 3117 | 16366 | 52,16 | 3187 | 0,0598 | 0,19048 |
| 4. Kőrisfa | 77,9 | 19064 | 247520 | 186,79 | 755 | 0,1021 | 0,07702 |
| 5. Égerfa | 40,5 | 5153 | 34783 | 19,52 | 561 | 0,2640 | 0,14815 |
| 6. Kőrisfa | 35,2 | 3893 | 22836 | 16,24 | 711 | 0,2397 | 0,17045 |
| 7. Tölgyfa | 29,9 | 2809 | 13996 | 9,83 | 702 | 0,2857 | 0,20067 |
| 8. Acélgolyó, fényes | 47,6 | 7118 | 56470 | 439,43 | 7782 | 0,0162 | 0,12605 |
| 9. Acélgolyó, matt | 48,1 | 7268 | 58269 | 446,02 | 7655 | 0,0163 | 0,12474 |
| 10. Pingponglabda | 37,7 | 4465 | 28056 | 3,33 | 119 | 1,3409 | 0,15915 |
| 11. Gumilabda | 36,3 | 4140 | 25045 | 22,95 | 916 | 0,1804 | 0,16529 |

**2.2. táblázat: Rendezés átmérő szerint, ami felület, térfogat és térfogati fajlagos felület szerinti rendezést is jelent, és amit ide kattintva grafikus formában is megtekinthet**

| Jel és megnevezés | Átmérő | Felület | Térfogat | Tömeg | Testsűrűség | Fajlagos felület | Térf. fajl. felület |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | $mm^2$ | $mm^3$ | g | $kg/m^3$ | $m^2/kg$ | $mm^2/mm^3$ |
| 7. Tölgyfa | 29,9 | 2809 | 13996 | 9,83 | 702 | 0,2857 | 0,20067 |
| 3. Fluorit | 31,5 | 3117 | 16366 | 52,16 | 3187 | 0,0598 | 0,19048 |
| 6. Kőrisfa | 35,2 | 3893 | 22836 | 16,24 | 711 | 0,2397 | 0,17045 |
| 11. Gumilabda | 36,3 | 4140 | 25045 | 22,95 | 916 | 0,1804 | 0,16529 |
| 10. Pingponglabda | 37,7 | 4465 | 28056 | 3,33 | 119 | 1,3409 | 0,15915 |
| 2. Szerpentin | 38,4 | 4632 | 29648 | 75,21 | 2537 | 0,0616 | 0,15625 |
| 5. Égerfa | 40,5 | 5153 | 34783 | 19,52 | 561 | 0,2640 | 0,14815 |
| 1. Paesina mészkő | 40,6 | 5178 | 35041 | 86,05 | 2456 | 0,0602 | 0,14778 |
| 8. Acélgolyó, fényes | 47,6 | 7118 | 56470 | 439,43 | 7782 | 0,0162 | 0,12605 |
| 9. Acélgolyó, matt | 48,1 | 7268 | 58269 | 446,02 | 7655 | 0,0163 | 0,12474 |
| 4. Kőrisfa | 77,9 | 19064 | 247520 | 186,79 | 755 | 0,1021 | 0,07702 |

**2.3. táblázat: Rendezés tömeg szerint**

| Jel és megnevezés | Átmérő | Felület | Térfogat | Tömeg | Testsűrűség | Fajlagos felület | Térf. fajl. felület |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | $mm^2$ | $mm^3$ | g | $kg/m^3$ | $m^2/kg$ | $mm^2/mm^3$ |
| 10. Pingponglabda | 37,7 | 4465 | 28056 | 3,33 | 119 | 1,3409 | 0,15915 |
| 7. Tölgyfa | 29,9 | 2809 | 13996 | 9,83 | 702 | 0,2857 | 0,20067 |
| 6. Kőrisfa | 35,2 | 3893 | 22836 | 16,24 | 711 | 0,2397 | 0,17045 |
| 5. Égerfa | 40,5 | 5153 | 34783 | 19,52 | 561 | 0,2640 | 0,14815 |
| 11. Gumilabda | 36,3 | 4140 | 25045 | 22,95 | 916 | 0,1804 | 0,16529 |
| 3. Fluorit | 31,5 | 3117 | 16366 | 52,16 | 3187 | 0,0598 | 0,19048 |
| 2. Szerpentin | 38,4 | 4632 | 29648 | 75,21 | 2537 | 0,0616 | 0,15625 |
| 1. Paesina mészkő | 40,6 | 5178 | 35041 | 86,05 | 2456 | 0,0602 | 0,14778 |
| 4. Kőrisfa | 77,9 | 19064 | 247520 | 186,79 | 755 | 0,1021 | 0,07702 |
| 8. Acélgolyó, fényes | 47,6 | 7118 | 56470 | 439,43 | 7782 | 0,0162 | 0,12605 |
| 9. Acélgolyó, matt | 48,1 | 7268 | 58269 | 446,02 | 7655 | 0,0163 | 0,12474 |

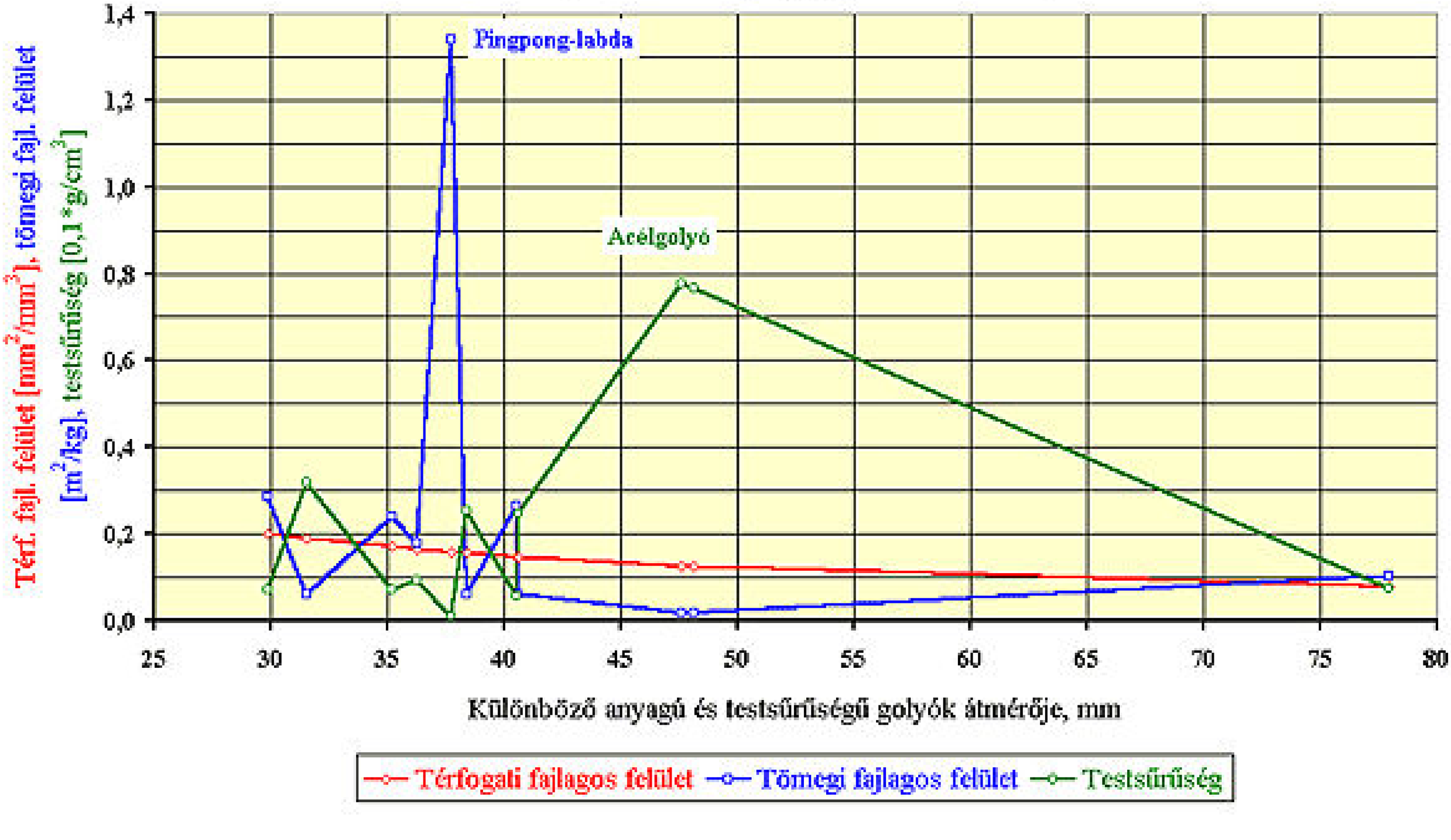
**2.4. táblázat: Rendezés testsűrűség szerint**

| Jel és megnevezés | Átmérő | Felület | Térfogat | Tömeg | Testsűrűség | Fajlagos felület | Térf. fajl. felület |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | $mm^2$ | $mm^3$ | g | $kg/m^3$ | $m^2/kg$ | $mm^2/mm^3$ |
| 10. Pingponglabda | 37,7 | 4465 | 28056 | 3,33 | 119 | 1,3409 | 0,15915 |
| 5. Égerfa | 40,5 | 5153 | 34783 | 19,52 | 561 | 0,2640 | 0,14815 |
| 7. Tölgyfa | 29,9 | 2809 | 13996 | 9,83 | 702 | 0,2857 | 0,20067 |
| 6. Kőrisfa | 35,2 | 3893 | 22836 | 16,24 | 711 | 0,2397 | 0,17045 |
| 4. Kőrisfa | 77,9 | 19064 | 247520 | 186,79 | 755 | 0,1021 | 0,07702 |
| 11. Gumilabda | 36,3 | 4140 | 25045 | 22,95 | 916 | 0,1804 | 0,16529 |
| 1. Paesina mészkő | 40,6 | 5178 | 35041 | 86,05 | 2456 | 0,0602 | 0,14778 |
| 2. Szerpentin | 38,4 | 4632 | 29648 | 75,21 | 2537 | 0,0616 | 0,15625 |
| 3. Fluorit | 31,5 | 3117 | 16366 | 52,16 | 3187 | 0,0598 | 0,19048 |
| 9. Acélgolyó, matt | 48,1 | 7268 | 58269 | 446,02 | 7655 | 0,0163 | 0,12474 |
| 8. Acélgolyó, fényes | 47,6 | 7118 | 56470 | 439,43 | 7782 | 0,0162 | 0,12605 |

**2.5. táblázat: Rendezés fajlagos felület szerint**

| Jel és megnevezés | Átmérő | Felület | Térfogat | Tömeg | Testsűrűség | Fajlagos felület | Térf. fajl. felület |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | $mm^2$ | $mm^3$ | g | $kg/m^3$ | $m^2/kg$ | $mm^2/mm^3$ |
| 10. Pingponglabda | 37,7 | 4465 | 28056 | 3,33 | 119 | 1,3409 | 0,15915 |
| 7. Tölgyfa | 29,9 | 2809 | 13996 | 9,83 | 702 | 0,2857 | 0,20067 |
| 5. Égerfa | 40,5 | 5153 | 34783 | 19,52 | 561 | 0,2640 | 0,14815 |
| 6. Kőrisfa | 35,2 | 3893 | 22836 | 16,24 | 711 | 0,2397 | 0,17045 |
| 11. Gumilabda | 36,3 | 4140 | 25045 | 22,95 | 916 | 0,1804 | 0,16529 |
| 4. Kőrisfa | 77,9 | 19064 | 247520 | 186,79 | 755 | 0,1021 | 0,07702 |
| 2. Szerpentin | 38,4 | 4632 | 29648 | 75,21 | 2537 | 0,0616 | 0,15625 |
| 1. Paesina mészkő | 40,6 | 5178 | 35041 | 86,05 | 2456 | 0,0602 | 0,14778 |
| 3. Fluorit | 31,5 | 3117 | 16366 | 52,16 | 3187 | 0,0598 | 0,19048 |
| 9. Acélgolyó, matt | 48,1 | 7268 | 58269 | 446,02 | 7655 | 0,0163 | 0,12474 |
| 8. Acélgolyó, fényes | 47,6 | 7118 | 56470 | 439,43 | 7782 | 0,0162 | 0,12605 |

**Példa a térfogati és a tömegi fajlagos felület viszonyára**



Ugyanitt fényképeztük a hordozható kivitelű *PSZH* (Poverhnosztemer SZisztemü Hodakova) fajlagos felület mérő készüléket is. [Irodalom: Grigor Szemjonovics Hodakov: Tonkoje izmelcsenie sztroityelnüh. Moszka, 1972.] Működési elve hasonló a Blaine készülékéhez, a PSZH-4 típusú készülék leírását az MSZ 523-2:1975 szabvány tartalmazta, ma már nem használatos.

# PSZH fajlagos felület mérõ készülék

A légáteresztő képesség vizsgálatán alapú fajlagos felület mérési módszerek csak zárt pórusú anyagok esetén adnak tényleges értéket.

A cementtechnológiai kutatások során eredményesen használják a *BET eljárást* [Brunauer, S. - Emmett, P. H. - Teller, E.: Absorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 1938. Vol. 60. pp. 309.]. A módszerrel a porfelület beborításához szükséges gázmennyiségből következtetnek a fajlagos felületre, amelybe a nyílt pórusú szemcsék belső felülete is beleértendő. A fényképen a CEMKUT Cementipari Kutató-Fejlesztő Kft BET készülékét mutatjuk be.

# BET fajlagos felület mérő készülék

## Megjegyzés

Dolgozatunkban a $p'_{(\delta)}$ gyakoriságfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-gyakoriságfüggvényt*, a hozzá tartozó $p_{(\delta)}$ eloszlásfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-eloszlásfüggvényt* értettünk. Így van ez akkor is, amikor az ordinátatengely beosztása tömeg%.

# Vasúti ágyazati zúzottkövek minőségi követelményei

## ÖSSZEFOGLALÁS

- A vasúti ágyazati zúzottkő hazai műszaki követelményei az ERRI nemzetközi kutatóintézeti ajánláson [4] alapulnak, amely ajánlásokat a hazai állami vasúttársaság 1995 óta kötelező előírásként alkalmaz [1, 2] a kőbányákkal szemben. (ERRI = European Rail Research Institute, Utrecht, Hollandia).
- Ezek a követelmények - első sorban a Los Angeles aprózódás határértéke - mind a hazai aszfaltútépítési, mind a betonépítési zúzottkőre vonatkozó nemzeti és ágazati előírásokhoz képest szigorúak, de szigorúak a hazai vasúttársaság 1995 előtti anyag-átvételi feltételeihez képest is.
- A hazai vasúttársaság vasúti ágyazati zúzottkőre vonatkozó szigorú műszaki követelményei teljesíthetők ugyan, de hazai eruptív, építési kőanyagaink kőzetfizikai adottságai olyanok, és egy kőbányán belül is olyan változékonyak, hogy a szigorú Los Angeles előírásnak kellő megbízhatósággal kevés, illetve a korábbinál kevesebb kőbánya tud megfelelni.
- AZ ERRI nemzetközi kutatóintézeti ajánlás [4] a vasúti ágyazatba beépítésre szánt, de még be nem épített zúzottkőre vonatkozik, amelynek vizsgálati ellenőrzésére a mintát a kőbányában kell venni. Szemben áll ezzel a hazai vasúttársaság azon intézkedése [1, 2], amely a szigorú műszaki követelményeket a beépített zúzottkőre, illetve a forgalom alá helyezett pályából kivett mintára is vonatkoztatja.
- Az ágyazatba beépített zúzottkő minőségi követelményei és a vizsgálati anyag a matematikai statisztikának is megfelelő reprezentatív mintavételi módszerei mind a nemzetközi, mind a hazai szabályozásban tisztázatlanok.

- A vasúti ágyazati zúzottkő megrendelője és szállítója, az építtető és kivitelező közötti párbeszédet a szerződéskötéstől egészen a műszaki ellenőrök tevékenységéig nagyban megnehezíti, hogy a vasúti ágyazati zúzottkő minőségével egységes szabvány vagy ágazati műszaki irányelv nem foglalkozik. A rendelkezésre álló előírások és utalások szerteágazóak, számos kereszthivatkozást tartalmaznak, közöttük a napi gyakorlat számára elérhetetlen külföldi tanulmányokra való hivatkozást is. Ezért javasolható a mintavételt, a követelményrendszert, a vizsgálati módszereket, a szállítás feltételeit, az átadás-átvétel körülményeit, a szavatosságot, stb. minden eshetőségre kiterjedően tárgyaló, közmegegyezésen alapuló, felügyeleti szerv által is elfogadott, olyan egységes vasúti ágyazati zúzottkő műszaki irányelv elkészítése, amely hazai kőanyagaink geológiai adottságait, építési kőanyagaink kőzetfizikai tulajdonságait is figyelembe veszi.
- Javasoljuk egyidejűleg az "ellenőrző minta" intézményének bevezetését. Az "ellenőrző mintákat" adott szállítmányokból, azok különböző stádiumaiban (például kőbánya, fogadó állomás, depónia, beépítés helye, stb.) az átadó és átvevő közösen veszi, megjelöli és elkülönítve, megbízható módon a szavatossági idő lejártáig tárolja abból a célból, hogy a későbbi esetleges minőségi viták alkalmával e mintákat megvizsgálva vagy megvizsgáltatva a leszállított zúzottkő minőségi változásai utólag is nyomon követhetők legyenek.

## RÉSZLETES TÁRGYALÁS

A vasúti ágyazati zúzottkövek minőségi követelményeit hazánkban az állami vasúttársaság szabályozza. Minthogy ez a szabályozás a magyar nemzeti szabványban és az útügyi műszaki előírásokban foglaltaktól bizonyos értelemben eltér, érdemes a vasúti ágyazati zúzottkövek minőségi követelményeit külön áttekinteni.

E minőségi követelmények tekintetében a hazai vasúttársaság alépítményi létesítményekre és az ágyazatra vonatkozó minőségi átvételi előírása [1], valamint a vasúti ágyazati zúzottkő anyagok szállítására vonatkozó előírása [2] az ERRI D 182/RP4 [4] zárójelentésére támaszkodik.

Az ERRI zárójelentésében [4] foglalt követelmények azon vasúti fővonalakra érvényesek, amelyeken a személyvonatok legnagyobb sebessége 200 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 200 kN, valamint a tehervonatok legnagyobb sebessége 100 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 225 kN.

A hazai vasúttársaság zúzottkövekre vonatkozó [1] és [2] előírása a vizsgálati módszereket is figyelembe véve - a számszaki egyezés ellenére - az ERRI zárójelentésben [4] leírt követelményekné tartalmilag szigorúbb, illetve azoktól eltérő.

A szigorítások és eltérések, valamint az egyéb felvetődő kérdések a következők:

Az ERRI zárójelentés [4] a zúzottkövek minőségi tulajdonságainak ajánlott határértékeit a zárójelentés 4. mellékletének C. táblázatában adja meg. A táblázat lábjegyzetében az áll, hogy e táblázatban foglalt ajánlott határértékek egyéb rendelkezés hiányában a kőbányában vett minták minőségére vonatkozik. Az ERRI zárójelentés [4] ajánlását a határértékekre a hazai vasúttársaság minőségi átvételi utasítása [1] és zúzottkő minőségi előírása [2] követelményként veszi át, és szemben az ERRI ajánlásával nemcsak a kőbányában, hanem az építéshelyen vagy a beépített anyagon is változatás nélkül alkalmazza. Ezért nincs annak nemzetközileg elfogadott háttere, ha a hazai vasúttársaság e követelményeket a fogadóállomás depóniájából vagy az ágyazatból utólag vett minták vizsgálati eredményeire is érvényesnek tekinti, hacsak külön ilyen megállapodást a kőbányákkal nem köt.

Az ERRI zárójelentés [4] 4. melléklet C. táblázata a szilárdság vizsgálatokkal kapcsolatban kimondja, hogy a megadott határértékek a "régi" vizsgálatokra és nem az ajánlott, új vizsgálatokra vonatkoznak. Tájékozódásunk szerint a "régi" vizsgálat alatt az EN 1097-2:1998 szabvány szerinti Los Angeles vizsgálatot, az "új" vizsgálat alatt az ERRI zárójelentésben [4] foglalt vizsgálatot értik. A "régi" és az "új" vizsgálatok, és feltehetőleg eredményeik között van különbség, de hogy a "régi" határértékeknek az "új" vizsgálatok mellé rendelése a zúzottkő beszállító számára mit jelent, összehasonlító kísérletek végzése nélkül nem látható be.

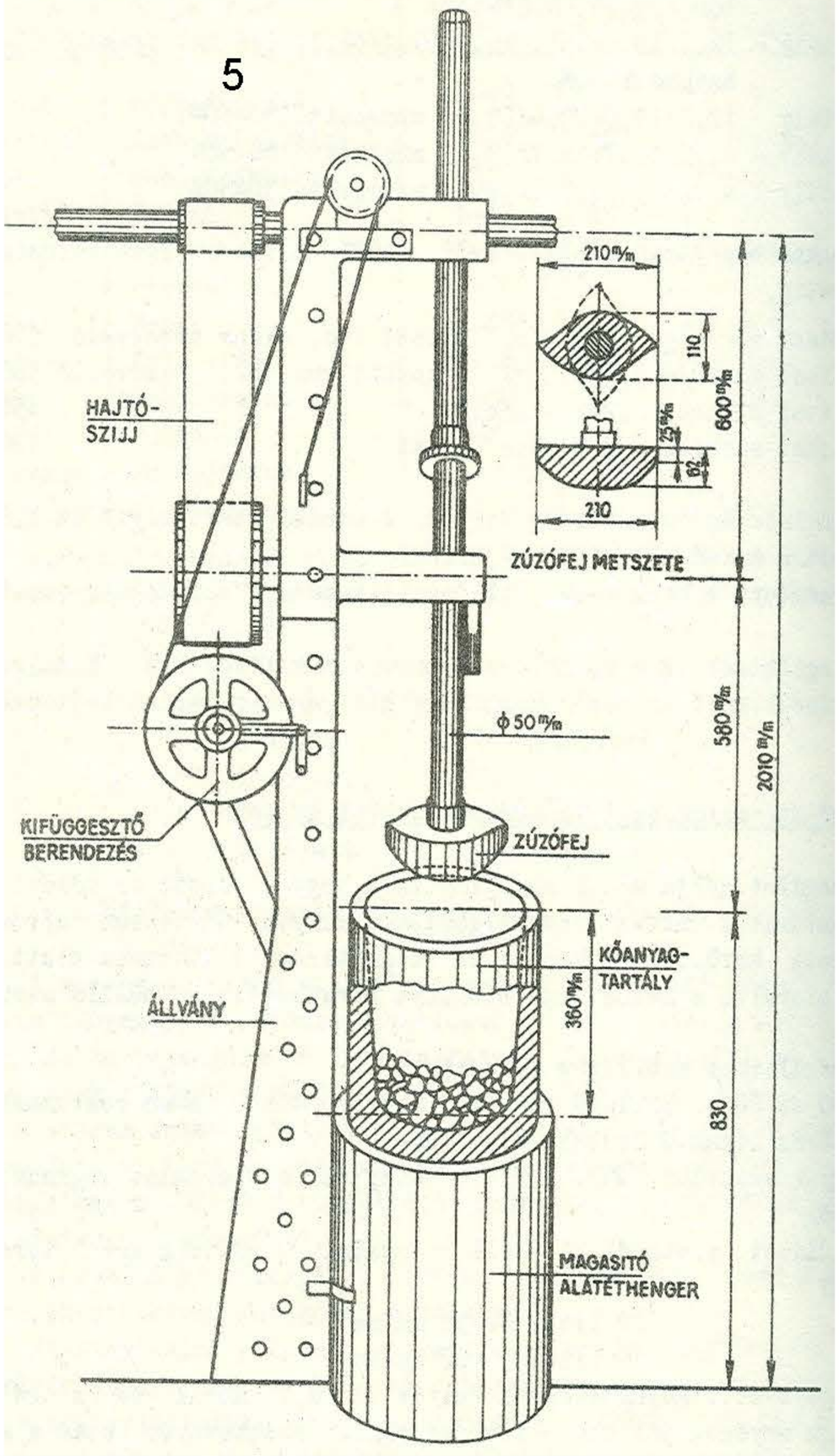
A Los Angeles aprózódás (kőanyaghalmazok szilárdságvizsgálata) be nem épített anyagra ajánlott határértékét ezért sem, de a beépített ágyazati anyag mintavételének a nemzetközi ajánlásban való teljes szabályozatlansága miatt sem lehet mai ismereteink alapján az utólagos szilárdság vizsgálat esetére elfogadni.

Az ERRI zárójelentés [4] a Los Angeles vizsgálatot az ASTM C 535-89 szabványra vezeti vissza. Ezt a szabványt azóta az ASTM C 535-96 szabvány váltotta fel [7]. Mind az ASTM C 535-89, mind az ASTM C 535-96 szabvány szerint a vizsgálati anyag szemnagysága 19-75 mm közé esik, ezt átfedésekkel három tartományra osztva kapják meg a vizsgálati osztályokat, amelyek határ-szemnagysága: 19,0-37,5 mm, 25,0-50,0 mm, 37,5-75 mm. (A számunkra szokatlan szemnagyságok az angolszász hosszúság-egységre épülő ASTM E 11-77 szabványból erednek, és bizonyára erre vezethető vissza az is, hogy minden egyéb szabvánnyal ellentétben a Los Angeles aprózódási veszteséget nem az 1,6 mm, hanem az 1,7 mm nyílású szitával határozzák meg.) Az ASTM C 535 szabványt vette át az európai EN 1097-2:1998 szabvány, de azzal a lényeges különbséggel, hogy kisebb vizsgálati anyag tömeg, kisebb acélgolyó szám, kevesebb összes dobfordulat szám alkalmazása mellett a vizsgálati szemnagyság: 10,0-14,0 mm, megengedve a 4,0-8,0 mm, 6,2-10,0 mm, 8,0-11,2 mm, 11,2-16,0 mm szemnagyságokat is. Ezáltal a 22,4/63 mm szemnagyságú vasúti ágyazati zúzottkő Los Angeles aprózódásának vizsgálatára az EN 1097-2:1998 szabvány és a

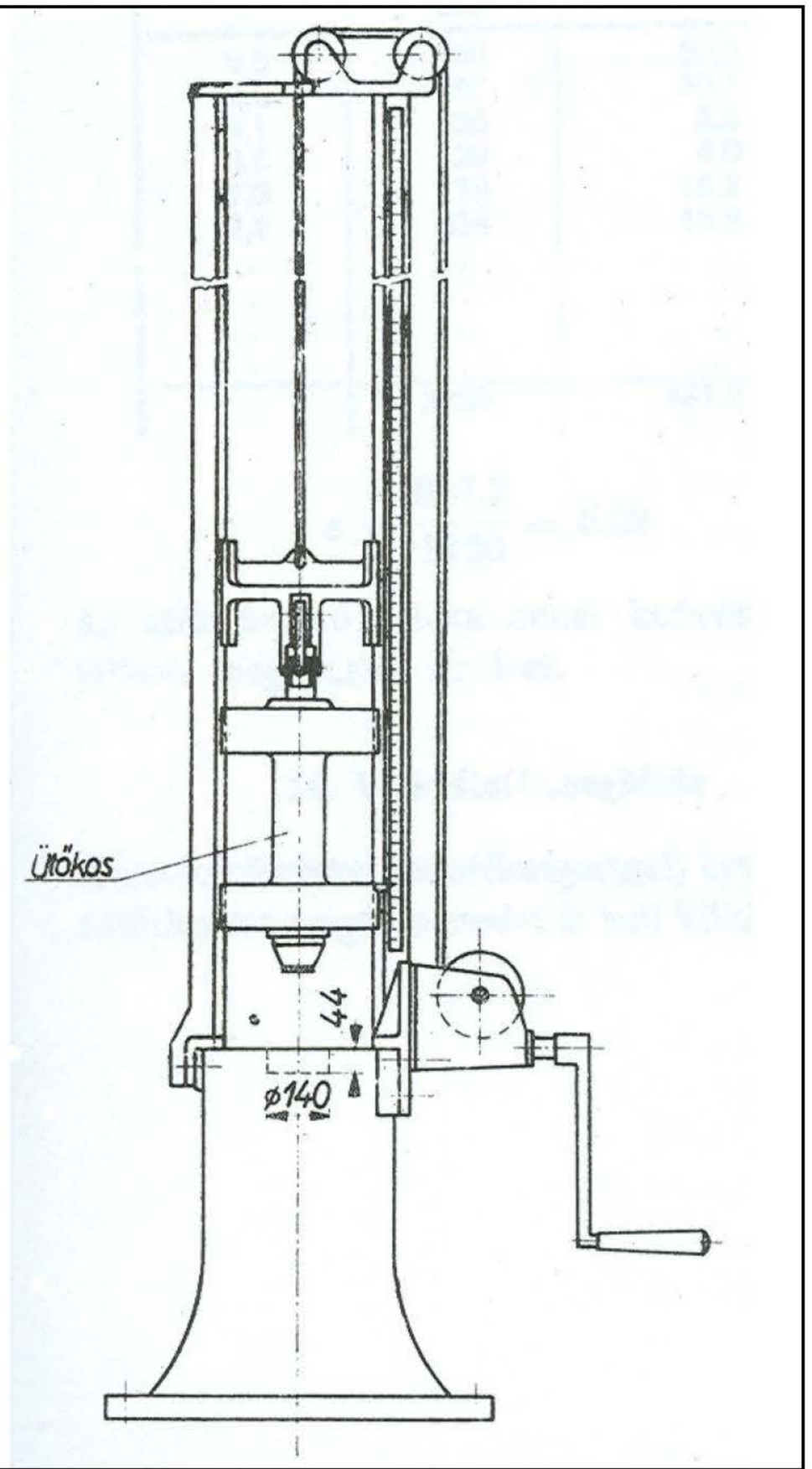
honosított MSZ EN 1097-2:2000 változat [8] alkalmatlanná vált. Ezért foglal az ERRI zárójelentés [4] úgy állást, hogy a vasúti ágyazati zúzottkő Los Angeles aprózódását az ASTM C 535-89 szabvány szerint kell elvégezni azzal a különbséggel, hogy a vizsgálati szemnagyság 31,5/50,0 mm, amelyet két részhalmazból kell összeállítani. Az ERRI zárójelentés [4] illetve az abból származtatott hazai vasúttársasági zúzottkő előírás [2] Los Angeles vizsgálati módszerétől alig mutat eltérést a - hazánkban 1967-ben (MSZ 1991:1967 szabvány 8.3. fejezete) bevezetett Los Angeles vizsgálati módszert örökítő - MSZ 18287-1:1991 szabvány VIIIa. vizsgálati osztályra (belső megosztás nélküli 35/50 mm) vonatkozó módszere [5], amihez azonban hozzá kell fűzni, hogy a VIIIa. vizsgálati osztályban kapott vizsgálati eredményekre gyakorlati tapasztalataink nincsenek.

A hazai vasúttársaság ágyazat minőségi átvételi előírásainak [1] és zúzottkő előírásának [2] bevezetésével a hazai vasúti ágyazati zúzottkő Los Angeles aprózódásának követelménye nagyon megszigorodott. A legjobb kőzetfizikai csoportban mind a nemzeti MSZ 18291:1978 zúzottkő termékszabvány, mind az útügyi ÚT 2-3.601:1998 zúzott kőanyag műszaki előírás ≤ 20 tömeg % Los Angeles aprózódási határértéket ír elő, szemben az ERRI zárójelentéssel [4] és a hazai vasúttársasági zúzottkő előírással [2], amelyek a Los Angeles aprózódás határértékét ≤ 15 tömeg %-ban rögzítik. A hazai vasúttársaság zúzottkő előírása [2] átvette az ERRI zárójelentés [4] szigorú Los Angeles aprózódási határértékét. Ez azért okoz gondot, mert míg Európa gazdag az olyan kőanyag előfordulásokban, amelyek a szigorú ERRI [4] követelménynek megfelelnek, addig a hazai építési kőanyagaink kőzetfizikai adottságai olyanok, és egy kőbányán belül is olyan változékonyak, hogy a hazai vasúttársaság szigorú Los Angeles előírásának [2] kellő megbízhatósággal kevés kőbányánk tud megfelelni. A követelményt kőbányabeli állapotban kis megbízhatósággal teljesítő zúzottkő minőségi jellemzője rövid vasútüzemi igénybevétel hatására is határérték alá kerülhet. Ha a szigorú hazai vasúttársasági zúzottkő előírás [2] valóban indokolt (amire hazai kísérleti tapasztalat nincs), akkor annak teljesítése komoly gazdasági többlet-terhekkel jár.

Közbevetőleg megemlítjük, hogy 1967 előtt hazánkban az útépítési zúzottkövek és a vasúti ágyazati zúzottkövek szilárdságát nem a Los Angeles, hanem a *Stübel*-féle ütő vizsgálattal (MSZ 1991:1960, MSZ 11300:1959) határozták meg. A vasúti ágyazati zúzottkövek nyersanyagának szilárdságát még 1967 után is sokáig a *Föppl*-féle ejtőgéppel vizsgálták. *Föppl*-féle vizsgálatot a Műegyetemen már az 1930-as években is végeztek, de *Föppl*-féle és *Stübel*-féle berendezésekkel legutóbb már csak a hazai vasúttársaság központi laboratóriuma (*MÁV Anyagvizsgáló Főnökség*) rendelkezett. A *Stübel*- és a *Föppl*-féle ütőszilárdság vizsgálati módszerek leírása együtt az MSZ 1991:1960 szabványban volt olvasható. Ez a szabvány már a Los Angeles vizsgálatot is ismertette, de a Los Angeles aprózódást akkor termékminősítésre még nem használták.




*Stübel*-féle zúzottkő vizsgáló ejtőgép [15]




*Föppl*-féle kőkocka vizsgáló ejtőgép [MSZ 1991:1967]

Visszatérve eredeti témánkra, a hazai vasúttársaság zúzottkő előírása [2] nem adja meg, hogy a h/v=3 kritérium alapján vizsgált szemalak követelményt darab%-ban vagy tömeg%-ban érti. Az ERRI zárójelentés 4. melléklet C. táblázatából [4] kiolvasható, hogy a h/v=3 kritérium alapján vizsgált szemalak tényezőt (Formindex vagy másképp Kornformkennzahl) tömeg%-ban kell meghatározni. Az ERRI zárójelentés a h/v=3 kritérium szerinti szemalak tényezőt (Formindex) a prEN 933-7 (1993. október) európai szabványtervezet alapján vizsgáltatja. Ez a szabványtervezet az időközben véglegesített formában az EN 933-4:1999 számot viseli, honosított változata az MSZ EN 933-4:2001 [9]. Az EN 933-4:1999 európai szabvány is úgy rendelkezik, hogy a szemalak tényezőt tömeg%-ban kell megadni. Ugyanezt tartalmazza a hazai vasúttársaság zúzottkő előírása [2] által hivatkozott MSZ 18288/3:1978 szabvány [6] 2.6.2.2. szakasza is.

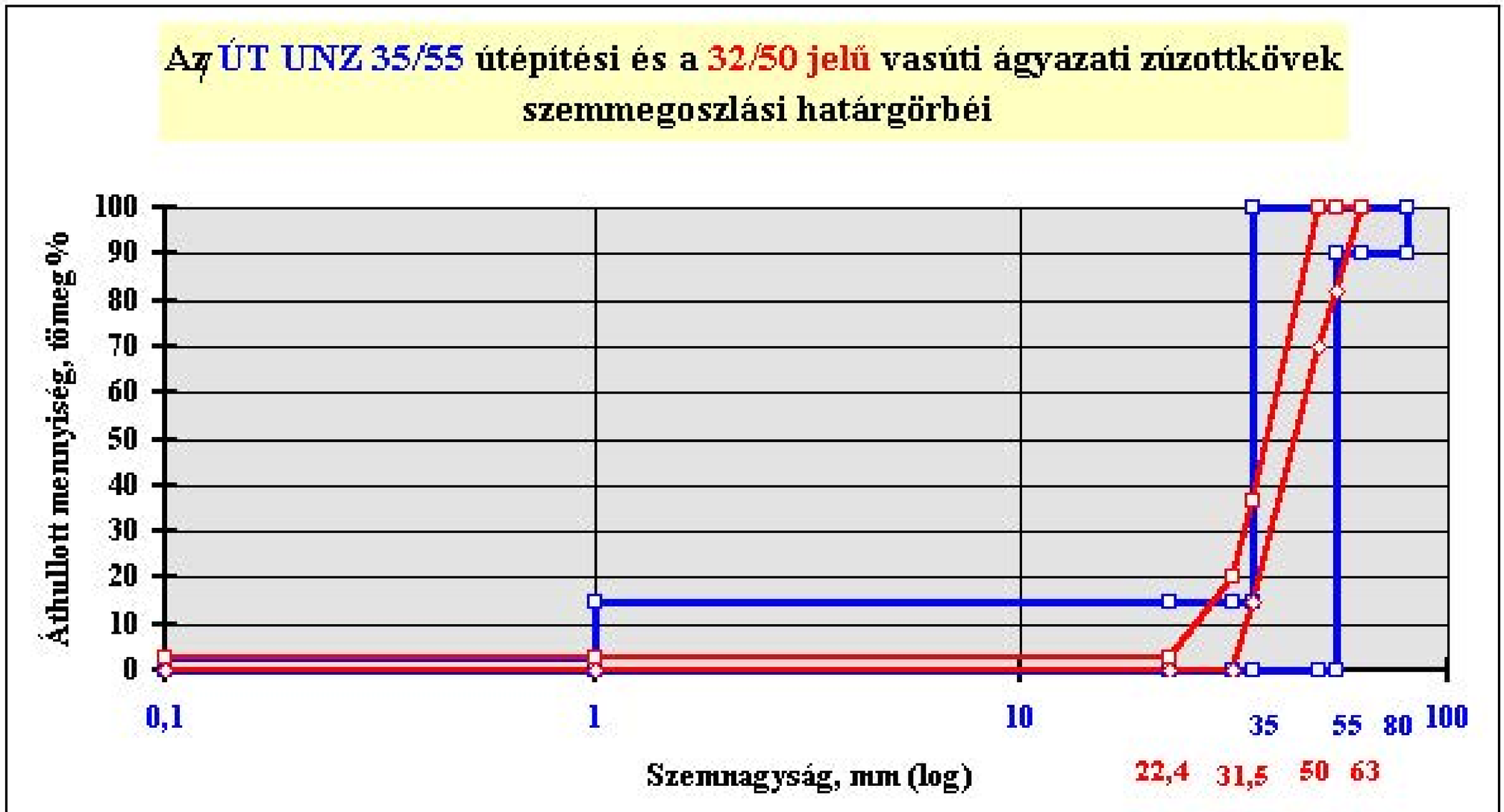
Hazai tapasztalat, hogy a lemezes szemek tömeg%-ban kifejezett mennyisége a darab%-ban kifejezettekének mintegy 0,85-szorosa. Eszerint a hazai vasúttársaság zúzottkő előírásában [2] a szemalak tényező lemezes szemekre vonatkozó 25

tömeg%-os határértéke 25/0,85 = 29,4 darab% határértéknek felel meg. Ezt a körülményt[6] az esetleg darab%-ban kifejezett szemalak mérési eredmények értékelése során nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A vasúti ágyazati zúzottkövet - 22,4/63 mm szemnagyságából kifolyólag - az MSZ EN 933-4:2001 szabvány [9] szerinti szemalak vizsgálata során $D_i \leq 2*d_i$ szemnagyságú részhalmazokra (például 22,4/31,5 és 31,5/45 és 45/63 mm) kell szétszitálni és a h/v=3 kritérium szerinti szemalak vizsgálatot egyéb megkötések mellett részhalmazonként kell elvégezni. Az EN 933-4:1999 és így az MSZ EN 933-4:2001 szabvány megengedi, hogy a vizsgált halmaz szemalak tényezője a részhalmazok vizsgálati eredményeinek tömeg szerint súlyozott átlagaként kerüljön meghatározásra. Sajnos ezzel az értékelési móddal kapcsolatban sem az ERRI zárójelentés [4], sem a hazai vasúttársaság zúzottkő előírása [2] állásfoglalást nem tartalmaz, holott a vasúti ágyazati zúzottkő szemalakjának minőségi megítélését feltétlenül többboldalúan elősegíthetné. Meg kell jegyeznünk, hogy az MSZ 18288/3:1978 szabvány a szemalak vizsgálati eredmények súlyozott átlagkénti megadásáról nem szól. A szabványos szemalak vizsgálati módszerek tehát nem teljesen azonosak, ezért egyértelműen állást kell foglalni abban a tekintetben, hogy a megadott minőségi követelmény érték (lemezes szemek aránya legfeljebb 25%) mely eljárás szerint értendő.

Azt a körülményt, hogy a vasúti ágyazati zúzottkő szemalakját a h/v hányados alapján ítélik meg, csak üdvözölni lehet, mert a h/v hányados sokkal szabatosabban határozható meg, mint a v/s hányados. Ha elfogadjuk azt a tapasztalatot, hogy a v/s=0,5 hányados szerinti lemezes szemek tömeg%-a a h/v=3 hányados szerinti lemezes szemek tömeg%-ának 1,04-szerese, akkor a hazai vasúttársaság zúzottkő előírásában [2] szereplő h/v=3 hányados szerinti 25 tömeg%-os határérték a v/s=0,5 hányados szerint 26 tömeg% határértéknek felel meg. Az ilyen szemalakú zúzottkövet az MSZ 18291:78 zúzottkő termék szabvány [11] NZ termékosztályúnak, az ÚT 2-3.601:1998 zúzott kőanyag műszaki előírás [10] UNZ termékosztályúnak nevezi.

Ha az ÚT 2-3.601:1998 zúzott kőanyag műszaki előírás [10] szerinti UNZ 35/55 mm szemnagyságú és a hazai vasúttársasági zúzottkő előírás [2] szerinti 32/50 mm szemnagyságú termékekre vonatkozó szemmegoszlási határgörbéit egymásra rajzoljuk, akkor jól látjuk, hogy a vasúti ágyazati zúzottkő követelménye a 22,4 mm szemnagyságnál kisebb szemek tartományában az útépítési zúzottkőéhez képest igen szigorú, a 35-50 mm tartományban is szigorú, míg a 31,5-35 mm tartományban az útépítési zúzottkőéhez képest talán könnyebben teljesíthető.




A vasúti ágyazati zúzottkőre vonatkozó - az ERRI zárójelentésből [4] átvett - hazai vasúttársasági követelmények, így a Los Angeles aprózódás ≤ 15 tömeg %-os határértéke is, először 1995-ben [1] jelentek meg. Ezt megelőzően a hazai vasúttársaságnak a nemzeti szabványtól eltérő minőségi előírása nem volt, azaz a zúzottkő minőségi követelményeként az MSZ 18291:78 zúzottkő termékszabvány [11] határértékeit alkalmazta. Tehát egyértelmű, hogy 1995-ben a hazai vasúttársaság a vasúti ágyazati zúzottkő minőségi követelményeit az európai minta alapján megszigorította. Arról, hogy a szigorítást a hazai vasúttársaság a kőbányákkal előzetesen egyeztette-e, nincs információnk.

Régebben a vasúti ágyazati zúzottkő szilárdságának szabályozására valóban nem túl sok gondot fordítottak. Inkább az ágyazat szemmegoszlására, elszennyeződésére helyezték a hangsúlyt. Például *dr. Kerkápoly Endre* professzor az 1990-ben kiadott (tehát, amikor az útépítési zúzottkövek szabványosítása már több évtizedre tekintett vissza) Mérnöki Kézikönyv IV. kötetének 463-464. oldalán [12] pusztán ennyit ír, és megelégszik a Z termékosztállyal:

"A vasúti ágyazat feladata:

- a vágány szilárd, egyben rugalmas alátámasztása;

- az aljakról átadódó terhelés csökkentett, kedvező elosztása a földműfelületen;

a csapadékvizek jó elvezetése;

- megfelelő hossz- és keresztirányú ágyazati ellenállás a vágánymozgásokkal szemben.

A zúzottkő ágyazat anyaga leggyakrabban vulkanikus kőzet, andezit, bazalt stb. Hazánkban van megfelelő minőségű és mennyiségű kőanyag, ezért ideiglenes és alárendelt esetektől eltekintve vasútvonalainkon zúzottkő ágyazat épül. A vasúti ágyazat anyaga egyszer tört zúzottkő, jele: Z 40/65. Hazai kutatások szerint a vágányellenállás szempontjából kedvezőbb a szélesebb tartományú, vegyes szemszerkezetű zúzottkő (pl. Z 25/65), ilyen anyagot azonban kőbányáink nem állítanak elő.

A jó zúzottkő a két szemszerkezeti határ között eléggé egyenletes eloszlású, az egyes kövek alakja zömök, kubikus, az oldalél elegendően ép és éles. Palás szerkezetű, málló és nem fagyálló kőzet ágyazati anyagnak nem alkalmas."

Ismert továbbá a beton-adalékanyagokra vonatkozó prEN 12620:1996 előszabvány [13], amelyben szó esik a Los Angeles vizsgálatról, és a Los Angeles aprózódás határértékeként a 20 tömeg% értéket adják meg. A beton-adalékanyagokhoz képest a vasúti ágyazati zúzottkőre vonatkozó követelmény tehát szigorú.

Az aszfalt-adalékanyagok európai szabványosításának tárgyában 1995-ben publikáltak egy közlemény [14]. Ebben jelezték, hogy az európai aszfalt követelmény szabványban a zúzottkövek Los Angeles aprózódása tekintetében várhatóan hét minőségi osztály lesz, és ezek közül a legszigorúbb követeli majd meg a legfeljebb 15 tömeg% értékű aprózódási veszteséget. Kérdés, hogy az ilyen minőségű zúzottkő beépítését milyen pályaszerkezeti rétegre írják majd elő. Ha ezt nem különleges kategóriaként kezelik, hanem a minőségi követelményszint általános megemeléseként, és ezt hazánkban is bevezetik, akkor számítani lehet arra, hogy ez nemcsak a hazai kőbányaipart, hanem a hazai aszfalt-útépítőipari technológiát is érzékenyen fogja érinteni.

Külön utasítás [3] foglalkozik a hazai vasúttársaság által használt anyagok és eszközök minőségi átvételéről. Ez az utasítás az átvétel szempontjából három kategóriába sorolja a termékeket:

"A" kategória. A minőségi tanúsítvány megléte esetén is átvételre köteles termékek. Kötelező a termék vasúttársasági minőségellenőrző szerv által történő minőségi vizsgálata. Ezek döntően nagyértékű és az üzem-, üzlet- és vagyonbiztonság szempontjából jelentős termékek.

"B" kategória. Minőségi tanúsítvány alapján át átvehető termékek azzal a megkötéssel, hogy a hazai vasúttársaság a terméket szúrópróbaszerű mintavételes minőségellenőrzésnek vetheti alá.

"C" kategória. Kereskedelmi minőségű termékek.

A termékek besorolását az utasítás melléklete tartalmazza, ebben azonban a zúzottkő címszó direkt módon nem található meg. Az utasítás a 7.) pontban

azonban úgy intézkedik, hogy a vasúti pályaszerkezet gyártására beszerzett valamennyi anyag csak a hazai vasúttársaság minőségi átvétele után kerülhet felhasználásra. Valószínűleg idesorolják a zúzottkövet, ami annak "A" kategóriás átvételét jelenti. Ezzel az utasítással kapcsolatban a hazai vasúttársaság szakszolgálata esetenként dönt arról, hogy valamely termék "átvétel köteles"-e vagy nem. Az "átvétel köteles"-ség alatt az "A" kategóriás átvételt kell érteni.

Az utasítás [3] 10.) pontja a minőségellenőrzésnek egy további szintjét rögzíti, amikor azt írja, hogy "a termék felhasználásakor felfedezett minőségi hiányosságokat ... a felhasználó tartozik az átvételt végző szervezetnek ... írásban bejelenteni és a hibás terméket egyidejűleg a raktárnak visszaadni." Azaz ez a pont burkoltan azt is mondja, hogy a hibás (vagy annak ítélt) terméket nem szabad beépíteni. Ebből logikailag az következik, ha a zúzottkövet beépítik a vasúti ágyazatba, akkor a hazai vasúttársaság a minőségi átvétel során abban hibát nem talált.

## IRODALOM


[1] Alépítményi létesítmények és az ágyazat minőségi átvételi előírásai. Hazai, állami vasúttársaság, Budapest, 1995.

[2] Vasúti felépítményi szakanyagok szállítása. Zúzottkő. A hazai, állami vasúttársaság és az európai beruházási bank közös előírása. Budapest, 1998.

[3] Utasítás a hazai, állami vasúttársaság által használt anyagok és eszközök minőségi átvételéről. (A vasúttársaság értesítője. 109. évf. 48. szám.)

[4] ERRI D 182/RP 4 (Schlußbericht). Einheitliche Beurteilungskriterien der Schotterqualität und Bewertungsmethoden des Schotterzustandes im Gleis. Einheitliche technische Lieferbedingungen und Beschreibung des Qualitätssicherungssystems für Bahnschotter. Kutatási zárójelentés. Utrecht, 1994. december.

[5] MSZ 18287/1:1983 Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. 1. rész: Los Angeles vizsgálat

[6] MSZ 18288/3:1978 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. 3. rész: Szemalak vizsgálata

[7] ASTM C 535-(19)89 → ASTM 535-(19)96 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

[8] MSZ EN 1097-2:2000 Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Módszerek az aprózódási ellenállás meghatározására

[9] EN 933-4:1999 Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 4: Bestimmung der Kornform. Kornformkennzahl; illetve MSZ EN 933-4:2001 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 4. rész: A szemalak meghatározása. Szemalaktényező

[10] ÚT 2-3.601:1998 Zúzott kőanyagok. Útügyi műszaki előírás

[11] MSZ 18291:78 Zúzottkő

[12] Mérnöki Kézikönyv IV. kötete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.

[13] prEN 12620:1996 Gesteinskörnungen für beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten

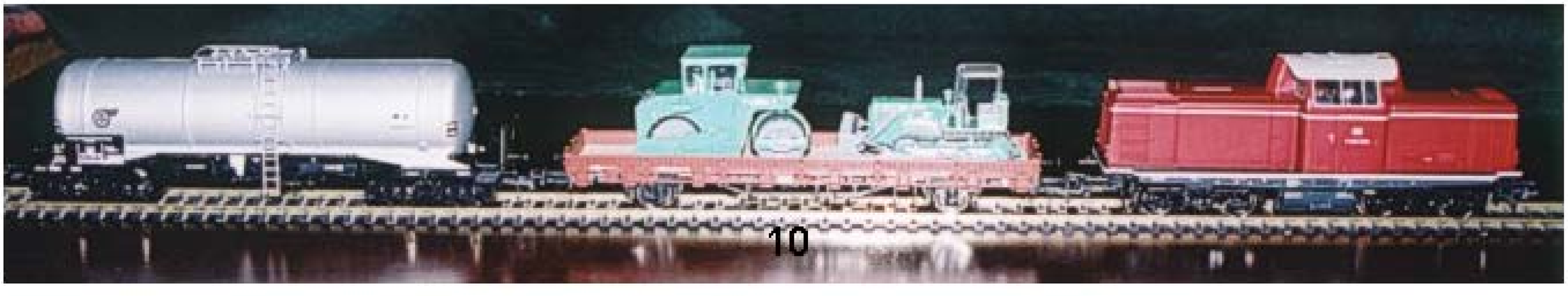
[14] Hahn, Ulrich: European Standard for Aggregatas in Asphalt Road Construction is shaping up. European Aggregates. 1/95. (1995. november) pp. 24-35.

[15] Reznák László: Kő és kohósalakkő. Útlaboratóriumi kézikönyvek. Útügyi Kutató Intézet 35. sz. kiadványa. Budapest, 1965.

[16] MSZ 1991:1960 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei

[17] MSZ 1991:1967 Természetes építési kövek és kőzúzalékok vizsgálati módszerei

A dolgozat készítésének időpontja: 2000. június 29.

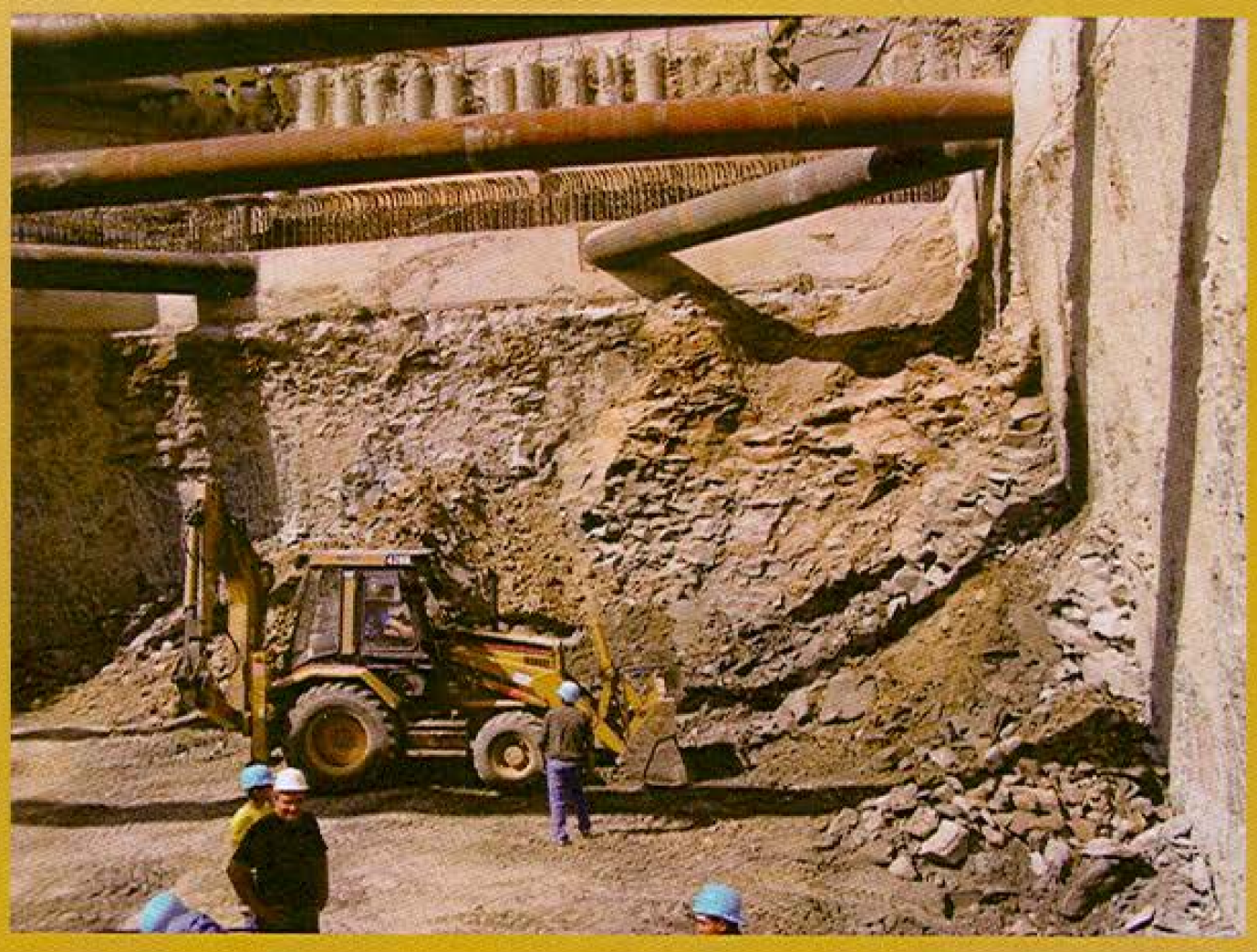


Szerkesztette:

Török Ákos - Vásárhelyi Balázs

# Mérnökgeológia Kőzetmechanika

2008



Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7

# Zúzott betonadalékanyagok kőzetfizikai tulajdonságai a szabályozásban

Mérnökgeológia Kőzetmechanika 2008. Konferencia kiadvány
(Szerkesztette Török Ákos és Vásárhelyi Balázs)
Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7.
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2008.
pp. 259 – 270.

**Dr. Kausay Tibor**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, betonopu@t-online.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS**: A zúzottkövet és a zúzottkavicsot az *alapanyag tulajdonságai* és a feldolgozás során szerzett *terméktulajdonságok* alapján kell minősíteni. A szabványok és előírások a kőanyag terméket az alapanyag tulajdonságok (kőzettani megnevezés, mechanikai és kristályosítási aprózódás) alapján *kőzetfizikai csoportokba*, a technológiai tulajdonságok (szemnagyság, szemalak, tisztaság) alapján *termékosztályokba sorolják be*. Újabban számos gyakorlati problémát is hordozó elvi kérdés, hogy *a kőzetfizikai csoportba sorolás* milyen anyagon, hol, miként, milyen módszerrel és követelmények alapján történjék. A dolgozat érvekkel alátámasztva alternatívát kínál a kőzetfizikai tulajdonságok *terméken* történő meghatározására – a betonadalékanyagkénti felhasználás során feltétlen el is várja –, nemcsak a jól bevált hagyományokhoz való ragaszkodásból és a felhasználó, beruházó vitathatatlan építéshelyi ellenőrzési jogának megóvása, hanem új építményeink minőségének, illetve tartósságának érdekében is.

*Kulcsszavak*: Kőzetfizika, betonadalékanyag, zúzottkő, termékminősítés

AJÁNLÁS: DR. KERTÉSZ PÁL TANÁR ÚRNAK 80. SZÜLETÉSNAPJA ALKALMÁBÓL, TISZTELETTEL

## 1. BEVEZETÉS

A zúzott betonadalékanyagok kőzetfizikai tulajdonságai alatt az építési gyakorlatban általában és jelen dolgozatban a zúzottkő és zúzottkavics termékek azon aprózódási és időállósági tulajdonságait értjük, amelyeknek termékminősítő szerepük van. Az építési kőanyagok – 1978-1991 között, a Budapesti Műszaki Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének vezetésével készült, 50 szabványból álló, MSZ 18280 – 18297 jelű – magyar nemzeti szabványrendszere azt az elvet követte, hogy – bár a kőzetfizikai tulajdonság voltaképpen az in situ kőanyag anyagtani sajátja – a kőzetfizikai tulajdonságok a zúzottkő és zúzottkavics termékeken is meghatározhatók, és így termékminősítésre is felhasználhatók kell legyenek. A közelmúltban az európai szabványok honosításával ennek az elvnek további alkalmazásában zavar támadt, mert az európai szabványoknak való feltétlen megfelelésre törekvéssel a felhasználó elveszítheti (az aszfaltútépítés területén el is veszítette) a kőzetfizikai tulajdonságok megvásárolt terméken való vizsgálatának lehetőségét, és ráadásul még az időállósági követelmény is lazább lett. A beton és vasbeton építés területén e két minőségrontó változtatás egyike sem engedhető meg, mert a beton és vasbeton építmények tervezési használati élettartama egyszerűbb esetben is 50 év, igényesebb esetben (pályaburkolatok, alagutak, hidak, vízépítési műtárgyak, erőművek stb.) pedig 100 év, amely nagytartósságú betonok készítését követeli meg. A jelen dolgozatban a betonadalékanyagul szolgáló, megvásárolt zúzottkő és zúzottkavics termék kőzetfizikai tulajdonságai meghatározásának termékminősítésre kidolgozott módszerét mutatjuk be, különös tekintettel az új szabályozási körülményekre.

## 2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Az irodalomból (*Láczay-Fritz Oszkár*, **1930**) tudjuk, hogy a műegyetemi állami anyagvizsgáló Kísérleti Állomás az 1930-as évek elején terjesztette ki a tevékenységét a „*Deval*-dobban való koptatásra és a szívósság megállapítására a *Föppl*-féle kalapáccsal... Úgy a *Deval*-, mint a *Föppl*-féle gép inkább útburkolathoz alkalmazandó kőanyag vizsgálatára való." Az MSZ 1992:**1959** (NZ jelű) és az MSZ 11300:1959 (Z jelű) zúzottkő és zúzalék szabványokban a kőzetfizikai tulajdonságok fogalma még nem szerepelt, a szilárdsági és időállósági követelményeket akkor még így írták le:

- A zúzottkő anyaga *fagyálló* kőzet legyen. A vizsgálat módszere: MSZ 1991:1960
- A zúzottkő *nyomószilárdsága* – más kikötés hiányában – nem lehet kevesebb, mint 1500 kg/cm$^2$, (azaz 150 N/mm$^2$). A vizsgálat módszere: MSZ 1991:1960
- A zúzottkő a *Stübel*-féle mechanikai vizsgálat követelményeit elégítse ki. A vizsgálat módszere: MSZ 11300:1959

A *fagyállóságot* az MSZ 1991:1960 szerint szabályos vagy szabálytalan próbatesten vizsgálták. A ciklus fázisai a következők voltak: 4 óra (-20±4) °C hőmérsékleten, legalább 2 óra (+18±5) °C hőmérsékletű vízben.

A kőanyagot akkor tekintették károsodottnak, ha 2500 kg/m$^3$ feletti testsűrűségű kőanyag tömegvesztesége a 0,1 tömeg%-ot, a 2000 – 2500 kg/m$^3$ közötti testsűrűségűé a 0,25 tömeg%-ot, a 2000 kg/m$^3$ alatti testsűrűségűé a 0,4 tömeg%-t meghaladta. A kőanyagot a károsodás nélkül kiállott ciklusok száma alapján fagyállósági osztályba sorolták:

15 vagy kevesebb ciklus: „Fagyveszélyes"
16 – 24 ciklus: „Mérsékelten fagyálló"
25 – 49 ciklus: „Fagyálló". A fagyálló osztályt 1967-ben két osztályra bontották:
25 – 34 ciklus: „Fagyálló",
35 – 49 ciklus: „Fokozottan fagyálló"
50 vagy több ciklus: „Igen fagyálló"

A *nyomószilárdságot* az MSZ 1991:1960 szerint általában (5 ± 0,5) cm élhosszúságú próbakockákon, kevésbé tömör vagy igen nagy ásványi szemeket tartalmazó kőanyagok esetén (7 ± 0,5) cm vagy (10 ± 0,5) cm élhosszúságú próbakockákon határozták meg.

Légszáraz állapotú kőanyagokon például a következő nyomószilárdságokat mérték:

Diszeli bazalt: 180 – 370 N/mm$^2$
Zalahalápi bazalt: 170 – 335 N/mm$^2$
Nógrádkövesdi andezit: 173 – 359 N/mm$^2$
Szob, Csákhegyi dácit: 89 – 134 N/mm$^2$
Dunabogdányi andezit: 54 – 143 N/mm$^2$

A *Stübel-féle ejtőkosos ütőszilárdság* vizsgálat főbb jellemzői az MSZ 11300:1959 szabvány szerint a következők voltak:

Ütőtömeg: 36,5 kg; esési magasság: 12 cm; ütési sebesség: 50/perc; ütési idő: 12 perc; összes ütés száma: 600.
Vizsgálati anyag szemnagysága: 40-60 mm
A „jósági értékszám"-ot az ütőmunka után végzett szemmegoszlás vizsgálat eredményéből számították ki. A résztöretek tömegét azok szemnagyságához tartozó "elértéktelenedési tényező"-vel megszorozták, és e szorzatok összegét elosztva a vizsgálati anyag tömegével és megszorozva százzal az "elértéktelenedési százalék"-ot kapták. A 20 számértéket osztva az "elértéktelenedési százalék" századrészével jutottak a "jósági értékszámra".
A "jósági értékszám" követelménye vulkanikus (mélységi és kiömlési) kőzetekre: ≥ 60 érték volt. (Például a zalahalápi bazalton: 90, a tállyai andeziten: 70, szobi andeziten: 60 értékszámot mértek)

Közbevetőleg megemlítjük, hogy 1967 előtt hazánkban az útépítési zúzottkövek és a vasúti ágyazati zúzottkövek szilárdságát nem a *Los Angeles*, hanem a *Stübel*-féle ütő vizsgálattal (MSZ 1991:1960, MSZ 11300:1959) határozták meg. A vasúti ágyazati zúzottkövek nyersanyagának szilárdságát még 1967 után is sokáig a *Föppl*-féle ejtőgéppel vizsgálták, de Föppl-féle és Stübel-féle berendezésekkel legutóbb már csak a MÁV Anyagvizsgáló Főnökség rendelkezett (*Reznák László*, 1965). A Stübel- és a Föppl-féle ütőszilárdság vizsgálati módszerek leírása együtt az MSZ 1991:**1960** szabványban volt olvasható. Ez a szabvány már a Los Angeles vizsgálatot is ismertette, de a Los Angeles aprózódást akkor termékminősítésre még nem használták.

A kőzetfizikai csoport fogalma először az MSZ 1992:**1970** „Zúzott kőtermékek" című szabványban jelent meg. A zúzottköveket és zúzottkavicsokat a *Los Angeles*, a *száraz és vizes Deval*, valamint a *magnézium-szulfátos és nátrium-szulfátos aprózódás* alapján *A*, *B*, *C* kőzetfizikai csoportba sorolták be. Az 1970 évi zúzottkő szabvány létrehozása, a kőzetfizikai csoport és a KZ termékek fogalmának megalkotása elsősorban *dr. Kertész Pál* és az őt támogató *dr. Reznák László* érdeme, akik a magyar nemzeti „építési kőanyagok szabványrendszer"-ét kidolgozó „Kő szabványbizottság" (*dr. Kertész Pál, dr. Gálos Miklós, dr. Marek István, Serédi Béla, Somfay Ernő, Král Andor, Vajda László, dr. Nemeskéri Kiss Gézáné, dr. Reznák László, Subert István, dr. Kausay Tibor*) munkájában meghatározó szerepet töltöttek be. Meg kell jegyezni, hogy ez a kényszerűségből mára nagyrészt visszavont szabványrendszer rendkívül korszerű és részletes volt, és azt a helyébe lépő európai szabványok általában sem tartalmukban, sem igényességükben nem haladják meg.

Az MSZ 1992:1970 szabványt felváltó MSZ 18291:**1978** „Zúzottkő" termékszabvány és az MSZ-07-3114:**1991** „Útépítési zúzott kőanyag" közlekedési ágazati szabvány is a Los Angeles aprózódás, a száraz és a vizes Deval aprózódás, a nátriumszulfát-oldatos és a magnéziumszulfát-oldatos kristályosítási aprózódás tartozott a kőzetfizikai jellemzők csoportjába.

A későbbi ágazati szabályozásban (ÚT 2-3.601:**1998** „Útépítési zúzott kőanyagok" útügyi műszaki előírás) a száraz Deval aprózódás és a nátriumszulfát-oldatos kristályosítási aprózódás elvesztette termékminősítő erejét, de új jellemzőként a *vizes mikro-Deval aprózódás* belépett a kőzetfizikai csoportba.

A legutóbbi útügyi műszaki előírásban (ÚT 2-3.601:**2006**) már a vizes Deval aprózódás sem szerepelt, és a kőzetfizikai csoportot a *Los Angeles aprózódás, a vizes mikro-Deval aprózódás, és a magnéziumszulfát-oldatos kristályosítási aprózódás* alkotta, az új európai kőanyaghalmaz (adalékanyag) termékszabványok (MSZ EN 13043:2003 aszfaltadalékanyag, MSZ EN 12620:2006 betonadalékanyag, MSZ EN 13242:2003 kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú kőanyaghalmazok) hatására.

Az ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás a kőzetfizikai csoportok tekintetében megegyezett az MSZ 4798-1:**2004** *betonszabvány* (az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány magyar nemzeti alkalmazási dokumentuma) kőzetfizikai csoportokra vonatkozó követelmény-rendszerével és a követelmények vizsgálatának módjával.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány és az az ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás közös sajátsága volt, hogy a zúzott kőanyagok kőzetfizikai tulajdonságainak vizsgálatát és a termékminősítést összhangba hozta az európai kőanyag termékszabványok (MSZ EN 13043:2003, MSZ EN 12620:2006, MSZ EN 13242:2003) és vizsgálati szabványok (MSZ EN 1097-2:2007, MSZ EN 1097-1:2004, MSZ EN 1367-2:1999) módszerével úgy, hogy az időállósági tulajdonság (magnéziumszulfátos aprózódás) követeménye sem csökkent.

A 2008. március 25-én megjelent és 2008. május 15. óta alkalmazott ÚT 2-3.601-**1:2008** útügyi műszaki előírás érvénybe léptetésével az aszfaltkeverékek és az aszfalt felületi bevonatok zúzott adalékanyagaira nézve felülírták ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírást. Ezzel az útépítési zúzottkövek egységes szemlélete és szabályozása az útügyi műszaki előírásokban megszűnt; sajnálatos módon megszüntették a kőzetfizikai csoportok fogalmát és alkalmazását; kötelezővé tették a kőzetfizikai (fizikainak nevezett) tulajdonságok referencia-vizsgálatát; ezzel elvették a vevőtől (kivitelező, építtető, beruházó) a lehetőséget, hogy a leszállított termék kőzetfizikai tulajdonságait megvizsgálja és ellenőrizze; a magnézium-szulfátos kristályosítás követelményét Magyarországon meg nem engedett mértékben lazították.

Ezek a változtatások az 50, illetve 100 év tervezett használati élettartamú, nagyteljesítőképességű, zúzottkő és zúzottkavics adalékanyagú betonok esetén megengedhetetlenek, amiért hangsúlyosan előtérbe kerül az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány alkalmazása, és a kőzetfizikai tulajdonságokra adott előírásának mélyrehatóbb kifejtése. *A kifejtett szempontok az út-, pálya-, és hídépítési betonadalékanyagok ÚT 2-3.601-**2:2009** útügyi műszaki előírásában érvényre jutnak.*

## 3. BETONADALÉKANYAGUL SZOLGÁLÓ ZÚZOTTKŐ ÉS ZÚZOTTKAVICS FRAKCIÓK KŐZETFIZIKAI CSOPORTJA

### 3.1. *Kőzetfizikai osztályok besűrítése*

A Los Angeles aprózódási és a szulfátos kristályosítási aprózódási osztályoknak az új európai szabványokban (MSZ EN 13043:2003, MSZ EN 12620:2006, MSZ EN 13242:2003 stb.) szereplő határértékei sajnos nem egyeznek meg a régi magyar, az MSZ 1992:1970 szabvány szerinti (*A*, *B*, *C*, *D*) és a vele azonos ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás szerinti (*AA*, *BB*, *CC*, *DD*) kőzetfizikai csoportok határértékeivel, és bizonyos szemnagyságoknál egymástól is eltérnek (*1. táblázat*). Különösen feltűnő a magnézium-szulfátos kristályosítás legszigorúbb követelményének magas európai határértéke (az $MS_{18}$ osztályban 18 tömeg%), amelynek hazai követelménye sokkal szigorúbb (a Kf-A kőzetfizikai csoportban 10 tömeg%) és átvétele nem indokolható.

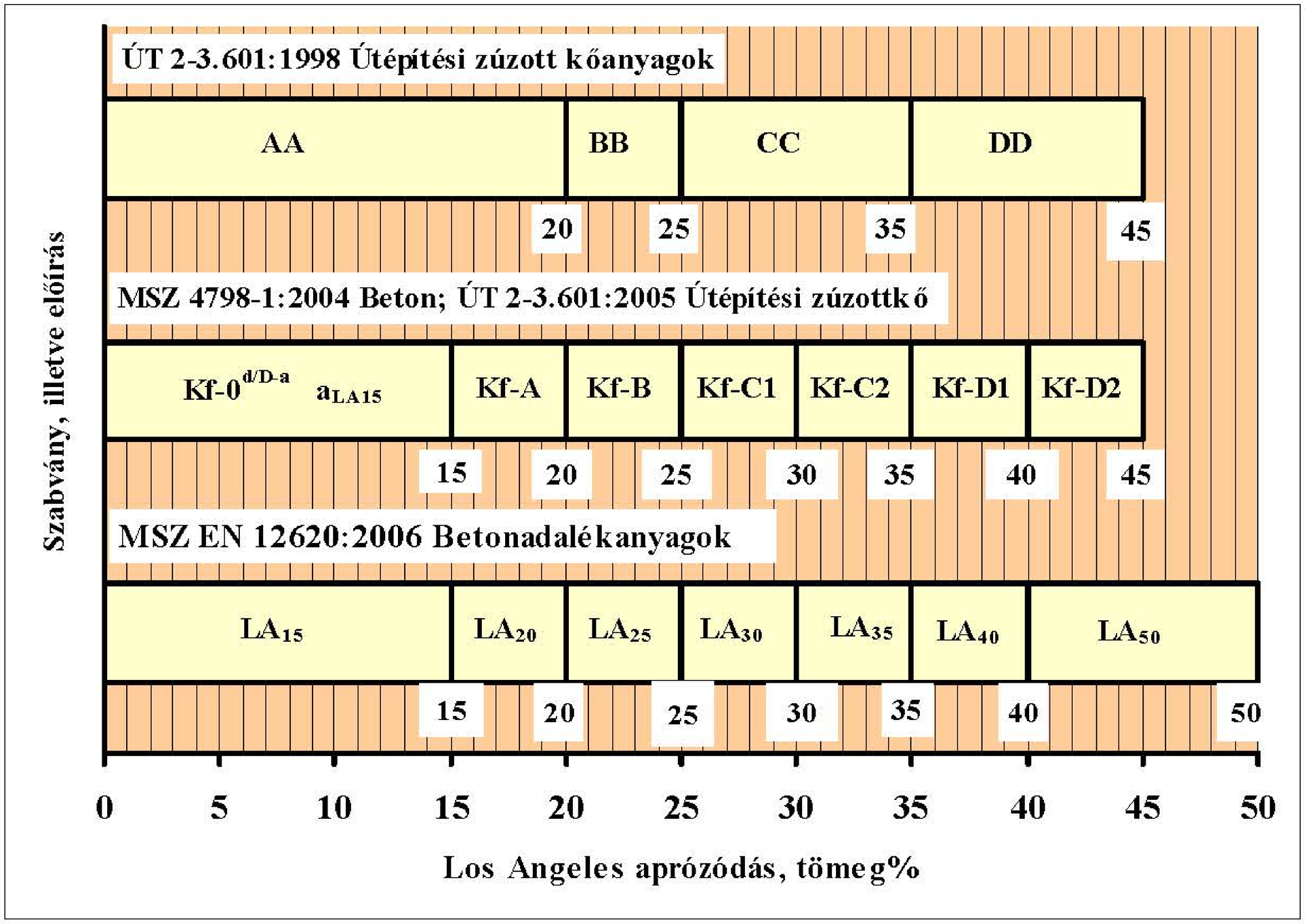
Megjegyezzük, hogy az MSZ EN 12620:2003 szabvány a durva (2 mm feletti) adalékanyagokra közvetlen fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság és fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot írja elő. A fagyasztási és olvasztási ciklusok száma 10, a fagyasztóközeg desztillált víz, fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat esetén nátrium-klorid oldat vagy telített karbamid oldat. Gond, hogy a 10 fagyasztási és olvasztási ciklus a hazai mérsékeltövi kontinentális éghajlati körülmények közepette kevés, és a legnagyobb fagykárosodást nem az 1 %-os, hanem a 3 %-os nátrium-klorid oldat okozza.

A hazai aprózódási osztályok európaitól való eltérése miatt az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány és az ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás – az európai szabványokhoz alkalmazkodva – a korábbi *C*, ill. *CC* kőzetfizikai csoportot *C1* és *C2* csoportra, a korábbi *D*, ill. *DD* kőzetfizikai csoportot *D1* és *D2* csoportra osztotta fel. Ezáltal az európai aprózódási osztályok határértékeinél az új magyar kőzetfizikai csoportoknak is határértéke van, a régi határértékek feladása nélkül (*1. – 3. ábra*). A *Kf-0*

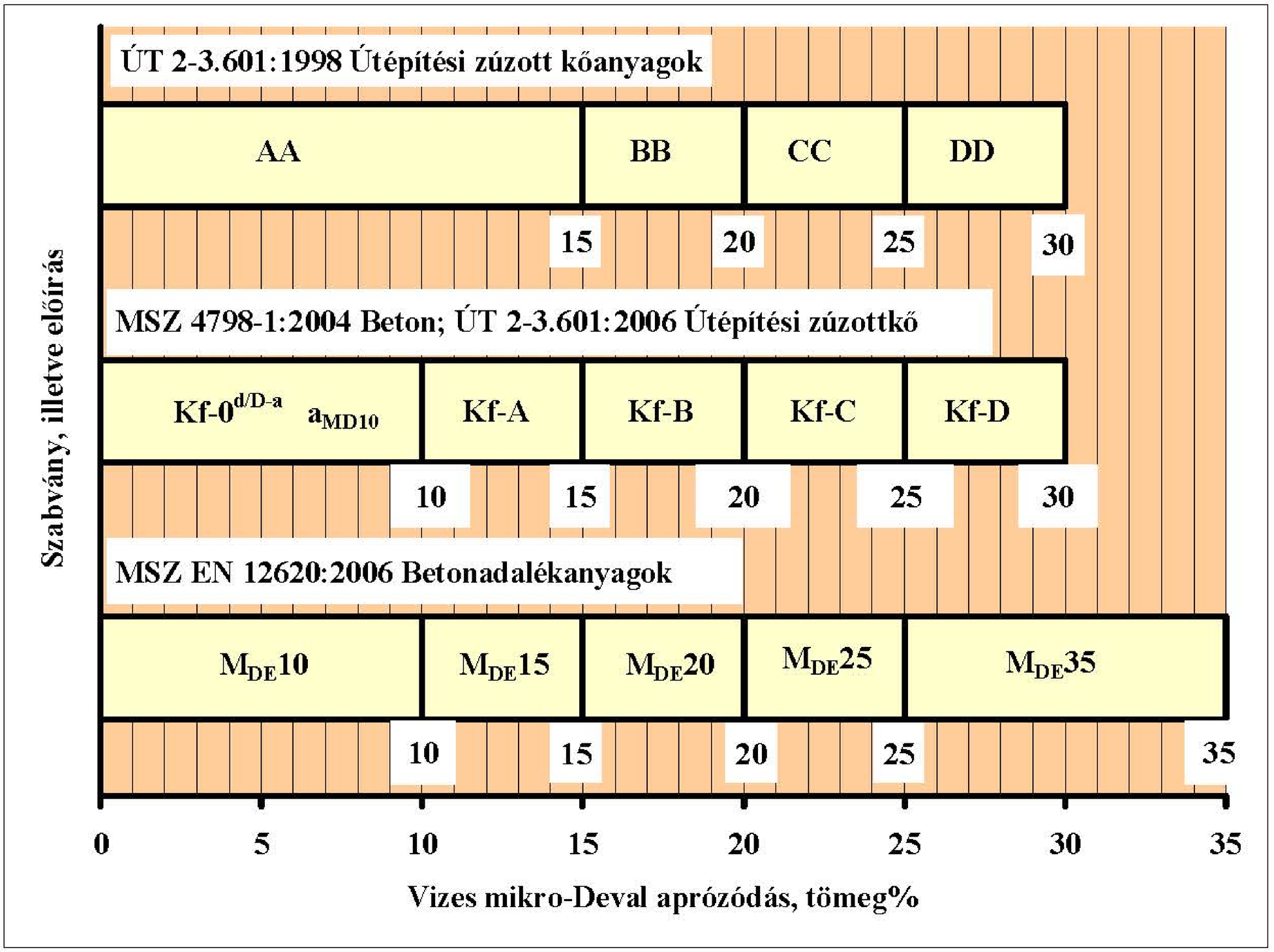
jelű, az eddigieknél szigorúbb kőzetfizikai csoport bevezetése is az európai szabványokhoz való igazodást szolgálta.

**1. táblázat.** A kőzetfizikai csoportok aprózódási osztályainak előfordulása az európai kőanyaghalmaz termék szabványokban

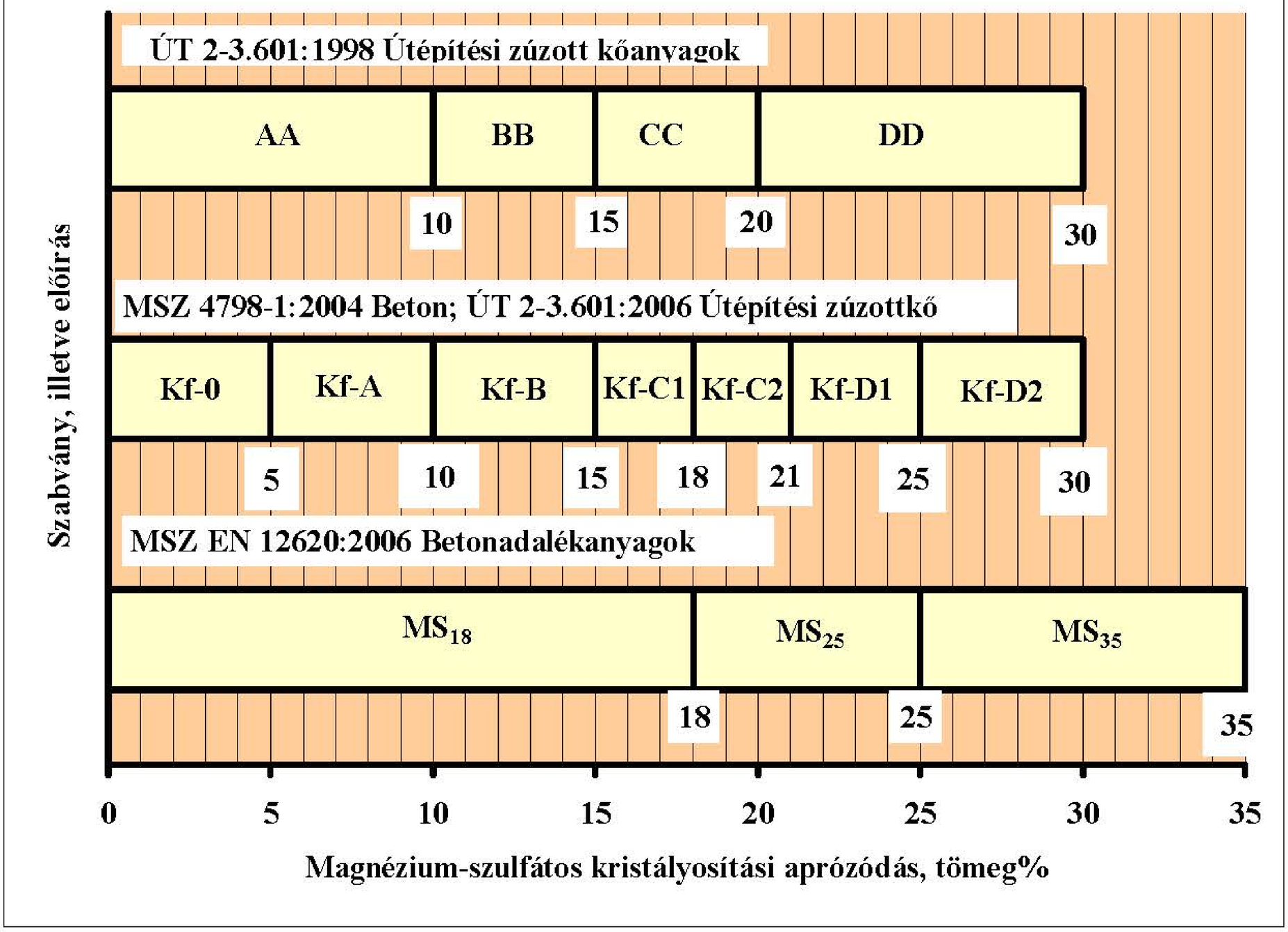
| Aprózódási osztály jele | Európai kőanyaghalmaz termék szabvány | | |
|---|---|---|---|
| | MSZ EN 13043 | MSZ EN 13242 | MSZ EN 12620 |
| Los Angeles aprózódás | | | |
| $LA_{15}$ | Szerepel | Nem szerepel | Szerepel |
| $LA_{20}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{25}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{30}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{35}$ | Nem szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{40}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{45}$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| $LA_{50}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $LA_{60}$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| | Mikro-Deval aprózódás | | |
| $M_{DE}10$ | Szerepel | Nem szerepel | Szerepel |
| $M_{DE}15$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $M_{DE}20$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $M_{DE}25$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $M_{DE}30$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| $M_{DE}35$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $M_{DE}40$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| $M_{DE}45$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| $M_{DE}50$ | Nem szerepel | Szerepel | Nem szerepel |
| | Magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás | | |
| $MS_5$ | Nem szerepel | Nem szerepel | Nem szerepel |
| $MS_{10}$ | Nem szerepel | Nem szerepel | Nem szerepel |
| $MS_{15}$ | Nem szerepel | Nem szerepel | Nem szerepel |
| $MS_{18}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $MS_{21}$ | Nem szerepel | Nem szerepel | Nem szerepel |
| $MS_{25}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |
| $MS_{30}$ | Nem szerepel | Nem szerepel | Nem szerepel |
| $MS_{35}$ | Szerepel | Szerepel | Szerepel |




**1. ábra.** Kőzetfizikai csoportok a Los Angeles aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban




**2. ábra.** Kőzetfizikai csoportok a vizes mikro-Deval aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban




**3. ábra.** Kőzetfizikai csoportok a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban

### 3.2. *Zúzottkő és zúzottkavics betonadalékanyag frakciók kőzetfizikai csoportja*

Az európai szabványok a 10-14 mm szemnagysághatárú Los Angeles, mikro-Deval, szulfátos kristályosítási vizsgálati minták *referencia-vizsgálatát* írják elő, de megengedik nemzeti előírás szerinti *alternatív-vizsgálati* szemnagysághatárok alkalmazását is. Ezt a körülményt használjuk ki az építéshelyre leszállított zúzott betonadalékanyag termékek (frakciók) vizsgálata lehetőségének megőrzésére. Az alternatív-vizsgálatokra azért van szükség, mert a referencia-vizsgálathoz szükséges 10-14 mm szemnagysághatárú vizsgálati mintát a zúzottkő termékből (a Z 0/22 és afeletti Z termékosztályú, általában alárendeltebb célra használatos frakciók kivételével) nem lehet előállítani. Ezért Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabvány elve szerint, *betonadalékanyag esetén*, megegyezés alapján szabad a Los Angeles, a mikro-Deval, a szulfátos kristályosítási vizsgálatot alternatív-vizsgálatként, a vonatkozó európai szabvány (MSZ EN 1097-2:2007, MSZ EN 1097-1:2004, MSZ EN 1367-2:1999) szerint, de a zúzott kőanyag frakciók szemnagyságához igazított vizsgálati anyagon elvégezni (MSZ 4798-1:2004).

A betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkövet és zúzottkavicsot az önszilárdság és az időállóság jellemzésére a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat eredménye alapján a *2. táblázat* szerint, az MSZ 4798-1.2004 szabványban foglaltakat követve kőzetfizikai csoportba kell sorolni. A zúzottkő *nyersanyag vizsgálata során a referencia-vizsgálatot*, de a zúzottkő és zúzottkavics *termék vizsgálata során az alternatív-vizsgálatot* kell alkalmazni. Ez a kőzetfizikai csoport rendszer egyesíti magában a hagyományos magyar kőzetfizikai csoport besorolást és a kőanyaghalmazok aprózódási (szilárdsági) tulajdonságainak európai követelményeit. A *2. táblázat* a zúzottkő termékek kőzetfizikai csoportján kívül bemutatja azok jelét és alkalmazhatóságát is beton készítés céljára.

A zúzottkő vagy zúzottkő termék akkor sorolható be valamely kőzetfizikai csoportba, ha az ugyanazon szemnagyságú laboratóriumi mintából (frakcióból) előállított vizsgálati anyag a kőzetfizikai csoport minden követelményét egyidejűleg kielégíti.

A kőzetfizikai csoport jelében fel kell tüntetni a laboratóriumi minta (frakció) szemnagysághatárait (*d/D*) és a referencia-vizsgálat (*r*), vagy az alternatív-vizsgálat (*a*) betűjelét (pl. 12/20 mm névleges szemnagysághatárú termék alternatív-vizsgálata esetén pl. $Kf\text{-}A^{12/20\text{-}a}$). Ha alternatív-vizsgálatot

végeztek, akkor az alternatív-vizsgálat jelében meg kell adni a vizsgálati minta szemnagysághatárait ($d_1$-$d_2$) (pl. 12-20 mm szemnagyságú vizsgálati minta Los Angeles aprózódása esetén $a_{LA}^{12\text{-}20}$).

Az ÚT 2-3.601-1:2008 útügyi műszaki előírás az aszfalt-útépítőipar – mint legnagyobb zúzottkő felhasználónak – igényének megfelelően a zúzottkő és zúzottkavics frakciók szemnagysághatáraként az MSZ EN 13043, MSZ EN 13242, MSZ EN 13285 szabványokban – és MSZ EN 12620 szabványban is – szereplő, és az aszfaltútépítésben használatos ún. „alap + 1 kiegészítő szitasorozat"-ot (benne a 5,6; 11,2; 22,4; 45 mm nyílású szitákkal) használja, amely követelményhez a kőbányaipar általában alkalmazkodik, és ezt a betonépítésben is tudomásul kell venni. Ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat" szerinti, akkor ezt a körülményt az alternatív-vizsgálati minta szemnagysághatáraival is követni kell. Az alternatív Los Angeles vizsgálat ebben az esetben alkalmazandó jellemzői a *3. táblázatban*, az alternatív mikro-Deval vizsgálat jellemzői a *4. táblázatban*, az alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat jellemzői az *5. táblázatban* találhatók.

**2. táblázat.** A zúzottkő betonadalékanyagok kőzetfizikai csoportja (MSZ 4798-1:2004 alapján)

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálati minta szemnagysága mm | Kőzetfizikai csoportok **referencia-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „r") | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kf-$0^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$A^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$B^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$C^{d/D\text{-}r}$ | | Kf-$D^{d/D\text{-}r}$ | |
| | | | | | Kf-$C1^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$C2^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$D1^{d/D\text{-}r}$ | Kf-$D2^{d/D\text{-}r}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2 | 10-14 | $LA_{15} \leq 15$ | $15 < LA_{20} \leq 20$ | $20 < LA_{25} \leq 25$ | $25 < LA_{30} \leq 30$ | $30 < LA_{35} \leq 35$ | $35 < LA_{40} \leq 40$ | $40 < LA_{45} \leq 45$ |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1 | 10-14 | $M_{DE}10 \leq 10$ | $10 < M_{DE}15 \leq 15$ | $15 < M_{DE}20 \leq 20$ | $20 < M_{DE}25 \leq 25$ | $20 < M_{DE}25 \leq 25$ | $25 < M_{DE}30 \leq 30$ | $25 < M_{DE}30 \leq 30$ |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2 | 10-14 | $MS_5 \leq 5$ | $5 < MS_{10} \leq 10$ | $10 < MS_{15} \leq 15$ | $15 < MS_{18} \leq 18$ | $18 < MS_{21} \leq 21$ | $21 < MS_{25} \leq 25$ | $25 < MS_{30} \leq 30$ |
| A zúzottkőbeton* legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez a zúzottkövet fel szabad használni | | ha a 4 mm feletti adalékanyag 100 tömeg%-a zúzottkő | | | | | | |
| | | C80/95 | C60/75 | C40/50 | C20/25 | C16/20 | C12/15 | C8/10 |
| | | ha a 4 mm feletti adalékanyag 30 tömeg%-a zúzottkő és 70 tömeg%-a kavics | | | | | | |
| | | C100/115 | C80/95 | C50/60 | C30/37 | C25/30 | C20/25 | C16/20 |

(A 2. táblázat folytatódik)

(A 2. táblázat folytatása)

| Tulajdonság és vizsgálati módszer | Vizsgálható szemnagyság tartománya ** mm | Kőzetfizikai csoportok **alternatív-vizsgálatok** esetén (jele felső indexben „a”) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kf-0$^{d/D-a}$ | Kf-A$^{d/D-a}$ | Kf-B$^{d/D-a}$ | Kf-C$^{d/D-a}$ | | Kf-D$^{d/D-a}$ | |
| | | | | | Kf-C1$^{d/D-a}$ | Kf-C2$^{d/D-a}$ | Kf-D1$^{d/D-a}$ | Kf-D2$^{d/D-a}$ |
| Los Angeles aprózódás, M% MSZ EN 1097-2 | 3-80 | $a_{LA15}{}^{d_1-d_2} \leq 15$ | $15 < a_{LA20}{}^{d_1-d_2} \leq 20$ | $20 < a_{LA25}{}^{d_1-d_2} \leq 25$ | $25 < a_{LA30}{}^{d_1-d_2} \leq 30$ | $30 < a_{LA35}{}^{d_1-d_2} \leq 35$ | $35 < a_{LA40}{}^{d_1-d_2} \leq 40$ | $40 < a_{LA45}{}^{d_1-d_2} \leq 45$ |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, M% MSZ EN 1097-1 | 3-20 | $a_{MD10}{}^{d_1-d_2} \leq 10$ | $10 < a_{MD15}{}^{d_1-d_2} \leq 15$ | $15 < a_{MD20}{}^{d_1-d_2} \leq 20$ | $20 < a_{MD25}{}^{d_1-d_2} \leq 25$ | $20 < a_{MD25}{}^{d_1-d_2} \leq 25$ | $25 < a_{MD30}{}^{d_1-d_2} \leq 30$ | $25 < a_{MD30}{}^{d_1-d_2} \leq 30$ |
| Kristályosítási veszteség $MgSO_4$ oldatban, M% MSZ EN 1367-2 | 2-80 | $a_{Mg5}{}^{d_1-d_2} \leq 5$ | $5 < a_{Mg10}{}^{d_1-d_2} \leq 10$ | $10 < a_{Mg15}{}^{d_1-d_2} \leq 15$ | $15 < a_{Mg18}{}^{d_1-d_2} \leq 18$ | $18 < a_{Mg21}{}^{d_1-d_2} \leq 21$ | $21 < a_{Mg25}{}^{d_1-d_2} \leq 25$ | $25 < a_{Mg30}{}^{d_1-d_2} \leq 30$ |
| A zúzottkőbeton* legnagyobb nyomószilárdsági osztálya, amelynek készítéséhez a zúzottkövet fel szabad használni | ha a 4 mm feletti adalékanyag 100 tömeg%-a zúzottkő | | | | | | | |
| | C80/95 | C60/75 | C40/50 | C20/25 | C16/20 | C12/15 | C8/10 | |
| | ha a 4 mm feletti adalékanyag 30 tömeg%-a zúzottkő és 70 tömeg%-a kavics | | | | | | | |
| | C100/115 | C80/95 | C50/60 | C30/37 | C25/30 | C20/25 | C16/20 | |

* A zúzottkőbeton olyan beton, amelynek 4 mm, vagy 8 mm, vagy 12 mm feletti része zúzottkő. A 4 mm alatti rész mindenképpen homok (és esetleg hozzáadagolt finomszemű kiegészítő anyag) legyen.

** A vizsgálható szemnagyság tartománya, amely a vizsgálati minták szemnagyságát öleli fel.

**3. táblázat.** Los Angeles vizsgálat jellemzői alternatív vizsgálat esetén, ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagyság-határa az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati szemnagyság mm | Vizsgálati minta tömege g | Golyók száma | Összes golyó tömege g | Összes fordulat száma |
|---|---|---|---|---|---|
| KZ 2/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| KZ 4/8 | 4 – 8 | 5000 ± 5 | 7 | 2920 ± 15 | 500 |
| KZ 8/11 | 8 – 11 | 5000 ± 5 | 9 | 3750 ± 20 | 500 |
| KZ 11/16 | 11 – 16 | 5000 ± 8 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| KZ 16/22 | 16 – 22 | 5000 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| KZ 22/32 | 22 – 32 | 10000 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| NZ 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| NZ 4/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| NZ 11/22 | 11 – 16<br>16 – 22 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| NZ 22/32 | 22 – 32 | 10000 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| NZ 32/56 | 32 – 45<br>45 – 56 | 5000<br>5000 ± 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |

(A 3. táblázat folytatódik)

(A 3. táblázat folytatása)

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati szemnagyság mm | Vizsgálati minta tömege g | Golyók száma | Összes golyó tömege g | Összes fordulat száma |
|---|---|---|---|---|---|
| Z 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| Z 0/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| Z 0/22 | 4 – 11<br>11 – 22 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| Z 0/32 | 8 – 16<br>16 – 32 | 2500<br>2500 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 500 |
| Z 0/45 | 22 – 32<br>32 – 45 | 5000<br>5000 ± 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| Z 0/80 | 45 – 63<br>63 – 80 | 5000<br>5000 ± 25 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| Z 4/22 | 4 – 11<br>11 – 22 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| Z 22/45 | 22 – 32<br>32 – 45 | 5000<br>5000 ± 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| ZK 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| ZK 4/8 | 4 – 8 | 5000 ± 5 | 7 | 2920 ± 15 | 500 |
| ZK 4/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| ZK 8/11 | 8 – 11 | 5000 ± 5 | 9 | 3750 ± 20 | 500 |
| ZK 8/16 | 8 – 11<br>11 – 16 | 2500<br>2500 ± 8 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| ZK 11/22 | 11 – 16<br>16 – 22 | 2500<br>2500 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |

**4. táblázat.** Mikro-Deval vizsgálat jellemzői alternatív vizsgálat esetén, ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagyság-határa az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati szemnagyság mm | Golyók tömege dobonként g |
|---|---|---|
| KZ 2/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| KZ 4/8 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| KZ 8/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| KZ 11/16 | 11 – 16 | 5500 ± 10 |
| NZ 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| NZ 4/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| NZ 11/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| Z 0/11 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| Z 0/22 | 8 – 16 | 5000 ± 10 |
| Z 0/32 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/45 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/80 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 4/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| ZK 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| ZK 4/8 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| ZK 4/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| ZK 8/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| ZK 8/16 | 8 – 16 | 5000 ± 10 |
| ZK 11/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |

**5. táblázat.** Vizsgálati adagok tömege alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat esetén

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati minta szemnagysága mm | Vizsgálati adag tömege g |
|---|---|---|
| KZ 2/4 | 2 – 4 | 200 – 210 |
| KZ 4/8 | 4 – 8 | 200 – 210 |
| KZ 8/11 | 8 – 11 | 300 – 310 |
| KZ 11/16 | 11 – 16 | 500 – 520 |
| KZ 16/22 | 16 – 22 | 600 – 630 |
| KZ 22/32 | 22 – 32 | 800 – 830 |
| NZ 0/4 | 2 – 4 | 200 – 210 |
| NZ 4/11 | 4 – 11 | 250 – 260 |
| NZ 11/22 | 11 – 22 | 550 - 570 |
| NZ 22/32 | 22 – 32 | 800 – 830 |
| NZ 32/56 | 32 – 45 | 800 – 830 |
| Z 0/4 | 2 – 4 | 200 – 210 |
| Z 0/11 | Szét kell szitálni (2 – 4) és (4 – 11) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 0/22 | Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 0/32 | Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22) és (22 – 32) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 0/45 | Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 0/80 | Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 4/22 | Szét kell szitálni (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára | |
| Z 22/45 | Szét kell szitálni (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára | |
| ZK 0/4 | 2 – 4 | 200 – 210 |
| ZK 4/8 | 4 – 8 | 200 – 210 |
| ZK 4/11 | 4 – 11 | 250 – 260 |
| ZK 8/11 | 8 – 11 | 300 – 310 |
| ZK 8/16 | Szét kell szitálni (8 – 11) és (11 – 16) mm szemnagyságú részmintára | |
| ZK 11/22 | 11 – 22 | 550 - 570 |

1. MEGJEGYZÉS: A szétszitált mintákat egyenként kell vizsgálni, és a vizsgálati eredmények súlyozott átlagával kell a termék magnézium-szulfátos aprózódását jellemezni. A 2 mm alatti és a 45 mm feletti szemeket nem kell vizsgálni.

2. MEGJEGYZÉS: A Z 0/22, Z 0/32, Z 0/45 és Z 0/80 frakciók esetén elegendő a két legnagyobb tömegarányú részmintát megvizsgálni.

## 4. BETONADALÉKANYAG FRAKCIÓK ELŐÁLLÍTÁSA ZÚZOTTKŐ TERMÉKEKBŐL

A legfontosabb 4 mm szemnagyság feletti, MSZ 4798-1:2004 betonszabvány szerinti szemnagyságú zúzottkő betonadalékanyag frakciók az ÚT 2-3.601-2:2008 (2009?) útügyi műszaki előírás szerinti zúzottkő termékekkel a *6. táblázat* szerint tekinthetők közel azonosnak, ill. a zúzottkő termékekből a *6. táblázat* szerint keverhetők össze. A keverési arány a zúzottkő termék tényleges szemmegoszlásának és a betonadalékanyag frakció tervezett szemmegoszlásának függvényében kerüljön meghatározásra.

**6. táblázat.** Zúzottkő betonadalékanyag frakciók előállítása az ÚT 2-3.601-2:2008 útügyi műszaki előírás szerinti zúzottkő termékekből

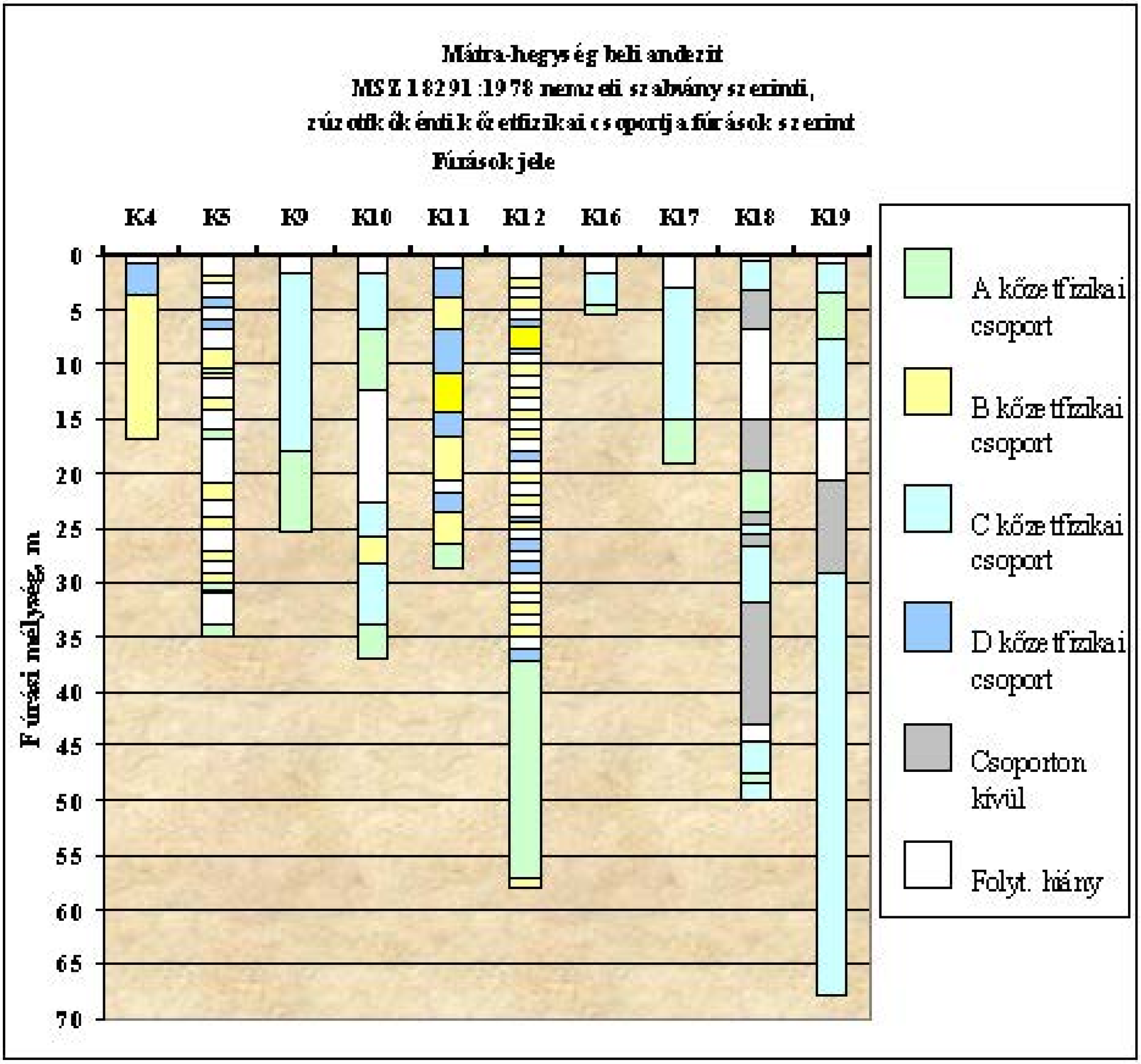
| MSZ 4798-1:2004 szerinti zúzottkő betonadalékanyag frakció szemnagysága mm | Utalás az ÚT 2-3.601-2:2008 útügyi műszaki előírás szerinti zúzottkő termékre |
|---|---|
| 4/8 | azonos a KZ 4/8 jelű zúzottkő termékkel |
| 8/12 | azonosnak vehető a KZ 8/11 jelű zúzottkő termékkel |
| 8/16 | KZ 8/11 + KZ11/16 jelű zúzottkő termékek megfelelő arányú keverésével állítható elő |
| 8/20 | KZ 8/11 + KZ 11/16 + KZ 16/22 jelű, vagy a KZ 8/11 + NZ 11/22 jelű zúzottkő termékek megfelelő arányú keverésével állítható elő |
| 16/20 | azonosnak vehető a KZ 16/22 jelű zúzottkő termékkel |
| 16/24 | azonosnak vehető a KZ 16/22 jelű zúzottkő termékkel |
| 16/32 | KZ 16/22 + KZ 22/32 jelű zúzottkő termékek megfelelő arányú keverésével állítható elő |

## 5. A KŐALAPANYAG KŐZETFIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSA

Az európai zúzott adalékanyag termékszabványok a zúzott termékeken el nem végezhető referencia-vizsgálatok szabványosítása által az aprózódási és időállósági tulajdonságoknak az alapanyagon, illetve a tört, de még osztályozatlan félkész-terméken történő meghatározását sugallja.

A referencia-vizsgálatok kétségtelenül alkalmasak a kőalapanyag kőzetfizikai tulajdonságainak meghatározására a műrevalóság kutatása, a bányafal megnyitása, a jövesztés, esetleg a havi vagy heti termelés kijelölése során. Azzal mindenesetre egyet lehet érteni, hogy a kőalapanyag zúzottkő gyártási műrevalóságának megítélésére a kutatás során vett fúrásmagok anyaga kőzetfizikai csoportjának meghatározása a 10-14 mm szemnagysághatárú vizsgálati minta referencia-vizsgálatával történjék.

Az európai termékszabványok megalkotói ezzel szemben a folyótermelésből – annak mennyiségétől függetlenül – legalább féléves (Los Angeles aprózódás), illetve legalább kétéves (mikro-Deval és szulfátos kristályosítási aprózódás) gyakorisággal vett minták referencia-vizsgálatát írták elő, az ÚT 2-3.601-1:2008 útügyi műszaki előírás a minták évente legalább egy, a fagyállóság tekintetében kétévente legalább egy referencia-vizsgálatáról szól, ami elgondolkoztató. A kőanyag minősége egy kőbányán, vagy annak egy részén belül is igen változatos (*4. ábra*).




**4. ábra.** Példa a kőzet előfordulás kőzetfizikai változatosságára

Ezért a kőalapanyag kőzetfizikai tulajdonságainak meghatározásához nem elegendő az átlag, hanem a terjedelem és szórás meghatározása is szükséges. El kell hagyni az átlag szerinti minősítést, és be kell vezetni a jellemző érték szerinti értékelést, értve alatta az építő- és építőanyagiparban általánosan elfogadott 5 %-os alsó küszöbértéket. A tapasztalati jellemző érték – amely a tapasztalati átlag és az elfogadási tényezővel szorzott tapasztalati szórás különbségeként (jellemző érték = átlag – alulmaradási tágasság) képezhető – egyenlő vagy nagyobb kell legyen az előírt jellemző értéknél. Az elfogadási tényező nagysága a mintaszámon kívül attól is függ, hogy az eljárással mekkora alapsokaságot (minősítési tételt) kívánunk jellemezni, milyen a kőanyag útjának követhetősége a kitermelés, a feldolgozás, a tárolás, a szállítás folyamán. Minél kevesebb mintával, minél nagyobb alapsokaságot, minél rosszabb követhetőségi feltételek mellett jellemzünk, az elfogadási tényező értéke annál nagyobb szám kell legyen. Mindez azért szükséges, mert a kőbányában, ill. feldolgozó üzemben vett mintákon végzett referencia-vizsgálattal a vevőt és a beruházót is kirekesztjük a kőzetfizikai tulajdonságoknak a megvásárolt zúzottkő terméken való ellenőrzésének lehetőségéből, miáltal a felhasználó lényegesen nagyobb kockázatot vállal, mint amikor általa is ellenőrizhető (vagy végezhető) módon a kőzetfizikai tulajdonságok vizsgálata a zúzottkő terméken történik. Csak ilyen rendszer működése esetén szabadna a kőzetfizikai tulajdonságokat az MSZ EN 13043:2003, MSZ EN 13242:2003, MSZ EN 12620:2006 európai termék szabvány, és az azokat fenntartás nélkül követő műszaki előírások szerint a 10-14 mm szemnagysághatárú vizsgálati minták referencia-vizsgálatával meghatározni. Ilyen rendszert a kőbányaipar saját minőségirányítási rendszerében a megfelelőségi nyilatkozat hátterekért akár önállóan is működtethetne, a vevő pedig mérlegelhetné, hogy annak eredményeit a termék átadás-átvételi eljárás alapjául elfogadja-e, vagy ragaszkodik a termékből vett minta – e dolgozatban ismertetett – alternatív-vizsgálatának elvégzéséhez.

Fontos hangsúlyozni, hogy a zúzott betonadalékanyagok ÚT 2-3.601-2:2008 útügyi műszaki előírása lehetővé teszi a zúzott termék kőzetfizikai tulajdonságainak alternatív-vizsgálatát.

Végezetül idézzük *Láczay-Fritz Oszkár* műszaki főigazgató építészt (Országház), aki 1930-ban megjelent könyvében ezt írta: „a Műegyetemen lévő állami anyagvizsgáló kísérleti állomás ...(vizsgálati eredményei)... mindenkor csak a beküldött bizonyos kődarabokra vonatkoznak és így azok alapján csakis a bányából eredő legjobb kövekre lehet következtetni, nem pedig az átlagra, de legkevésbé minden abból a bányából eredő kőre. Ha biztosak akarunk lenni abban, hogy bizonyos bányából beszerzett kő rendelkezik-e azokkal a tulajdonságokkal, melyeket a kísérleti állomás arra a kőre vonatkozóan kimutat, akkor minden egyes szállított követ hozzáértő és gyakorlott szemmel a kísérleti állomás pecsétjével ellátott mintadarabbal kell összehasonlítani.... Miután ezekkel a vizsgálatokkal nincsen az ugyanabból a kőbányából származó minden fejtési anyag jellemezve, a műegyetemi Kísérleti Állomás arra törekszik, hogy a mostani kővizsgálat helyébe a kőbányavizsgálatot vezesse be. Tudjuk, hogy egyetlen kőbányán belül mennyire eltérő lehet a kőanyag minősége."

IRODALOMJEGYZÉK


| | |
|---|---|
| MSZ 1991:1960 | Természetes építőkövek vizsgálati módszerei |
| MSZ 1991:1967 | Természetes építési kövek és kőzúzalékok vizsgálati módszerei |
| MSZ 1992:1959 | Zúzottkő és zúzalék többször tört és osztályozott (NZ jelű) |
| MSZ 1992:1970 | Zúzott kőtermékek |
| MSZ 4798-1:2004 | Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon |
| MSZ 11300:1959 | Zúzottkő és zúzalék egyszer tört és osztályozott (Z jelű) |
| MSZ 18291:1978 | Zúzottkő |
| MSZ EN 206-1:2002 és MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 | Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség |
| MSZ EN 1097-1:1998 és MSZ EN 1097-1:1996/A1:2004 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A kopásállóság vizsgálata (mikro-Deval) |
| MSZ EN 1097-2:2000 és MSZ EN 1097-2:1998/A1:2007 | Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása |
| MSZ EN 1367-2:1999 | Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás |
| MSZ EN 12620:2006 | Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz (Az angol nyelvű változat évszáma 2003 volt) |
| MSZ EN 13043:2003 | Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonatokhoz |
| MSZ EN 13242:2003 | Kőanyaghalmazok műtárgyakban és útépítésben használt kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú anyagokhoz |
| MSZ EN 13285:2003 | Kötőanyag nélküli keverékek. Előírások |
| MSZ-07-3114:1991 | Útépítési zúzott kőanyag. Közlekedési ágazati szabvány |
| ÚT 2-3.601:1998 | Útépítési zúzott kőanyagok. Útügyi műszaki előírás |
| ÚT 2-3.601:2006 | Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. Útügyi műszaki előírás |
| ÚT 2-3.601-1:2008 | Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 1. rész: Kőanyaghalmazok utak, repülőterek és más közforgalmi területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz. Útügyi műszaki előírás |
| ÚT 2-3.601-2:2008 (2009?) | Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 2. rész: Kőanyaghalmazok út-, pálya- és hídbetonokhoz |
| Láczay-Fritz Oszkár: | A természetes építőkövek elmállása és gyors pusztulásának megakadályozása. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda. Budapest, 1930. pp. 27. és pp. 40-41. |

Reznák László: Kő és kohósalakkő. Útlaboratóriumi kézikönyvek. Útügyi Kutató Intézet 35. sz. kiadványa. Budapest, 1965. pp. 51-52. és pp. 107-110.

A cikk rövidebb formában „Építési zúzott kőanyag termékek kőzetfizikai jellemzése" címmel az ÉPÍTŐANYAG című folyóirat 60. évf. 2008. 4. számában (pp. 106-111) is megjelent:



# Építési zúzott kőanyag termékek kőzetfizikai jellemzése[1]

**Dr. Kausay Tibor** • BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék • betonopu@t-online.hu

**Rock physical characteristics of crushed stone products for construction**

Crushed stone and crushed gravel shall be qualified according to both the *properties of the raw material* and *the technological properties* acquired in the course of processing. Standards and codes classify stone products based on the properties of the raw material into *rock physical groups* while based on their technological properties - into *product classes*. Since the implementation of the European stone product standards in Hungary exists the principal question (raising a lot of practical problems): based on what material, where, how and by what method and requirements shall the classification into rock physical groups take place. The paper offers an arguments based alternative for the determination of rock physical properties performed on *products* (the performance of which is unconditionally expected in the case of their use as aggregates for concrete) - not only because of adherence to the well proven traditions but also in order to conserve the user's (customer's) and investor's (builder's) unquestionable rights of controlling the construction site as well as to secure both the quality and the durability of our new buildings.

**Kausay Tibor**
(1934) Okl. építőmérnök (1961), okl. vasbeton-építési szakmérnök (1967), egy. doktor (1969), műsz. tud. kandidátusa (1978), címz. egy. docens (1985), Ph.D. (1997), a BME címz. egy. tanára (2003). Gróf Lónyay Menyhért emlékérmes (2003), MTESZ emlékérmes (2006). Munkahelyei: 1963-1994: SZIKKTI Betonosztálya; 1994-1996: BETONHUTHK+F Kft.; 1996-tól: BETONOPUS Bt. 1968 óta külsősként tanít a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Testületi és egyesületi tagsága: MMK, MTA SzSzB Megyei TT, fib MIT, SZTE, ÉTE, MFT, KTE. Főbb kutatási területei: Beton- és vasbeton-szerkezetek, betontechnológia, adalékanyagok és építési kőanyagok anyagtana. Publikációinak száma mintegy 160.

AJÁNLÁS: Dr. Kertész Pál tanár úrnak 80. születésnapja alkalmából, tisztelettel

## 2. Történeti áttekintés

Az MSZ 1992:1959 (NZ jelű) és az MSZ 11300:1959 (Z jelű)

[1] *A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008 konferencián, Budapesten, 2008. november 26-án elhangzott előadás rövidített változata*

# Zúzottkő

| | |
|---|---|
| Németül: | Brechsand (< 4 mm),<br>Splitt (4-32 mm),<br>Schotter (> 32 mm) |
| Angolul: | Chrushed stone |
| Franciául: | Pierres cassées,<br>concassé |

Robbantás a kőbányában

A zúzottkő, amely elsősorban aszfalt adalékanyag és vasúti ágyazati kő, a közönséges (normál) betonnak is természetes eredetű adalékanyaga ◆. Az 5 mm alatti szemeket szokás zúzaléknak is nevezni. A beton- és vasbetonépítésben zúzottkő alkalmazására vagy akkor kerül sor, amikor homokos kavics ◆ adalékanyag az építési hely közelében nem található, vagy amikor alkalmazásával az építési célnak jobban megfelelő beton készíthető. A zúzottkő adalékanyagú beton neve zúzottkőbeton. Ha a kőőrleményeket is zúzottkőnek tekintjük, akkor a zúzottkő, mint például a kőpor, a habarcsnak és a műkőnek is adalékanyaga.

A beton adalékanyagként felhasználható zúzottkő eredetét tekintve mélységi (például gránit), kiömlési (például bazalt, andezit, dácit, riolit, diabáz), összeálló törmelékes (például grauwacke), vegyi üledékes (például tömött mészkő, dolomit) kőzet. A kőanyagokat és termékeiket a jobb minőségtől a gyengébb felé haladva, A, B, C, D jelű (MSZ 18291:1978) illetve az útépítésben AA, BB, CC, DD jelű (ÚT 2-3.601:1998) kőzetfizikai csoportokba soroljuk. A kőzetfizikai csoportok az MSZ 4798:2004 szabvány szerint: Kf-0, Kf-A, Kf-B, Kf-C1, Kf-C2, Kf-D1, Kf-D2.

A zúzottkő gyártás során a kőbányában a fedőrétegtől megtisztított bányafal szakaszt fúrólyukakba helyezett töltetekkel lerobbantják. A jövesztett kőanyagot meddő leválasztás után előtörő berendezésben (többnyire nagyméretű pofástörőn, amelynek garatnyílása akár 1,0 m is lehet) durván megtörik, és előosztályozóra (vibrorosta) szállítják. Az előosztályozó leválasztja a durvább szemeket, amelyek tovább törésre kerülnek. A finomabb szemeket többsíkú vibrorostákkal osztályozzák, frakciókra bontják. Ezek képezik az „egyszer tört", ún. „Z" illetve az útépítésben „UZ" (zúzottkő) termékosztályokat. Az előosztályozóról lekerülő durvább szemeket utántörik (általában kúpostörőben, kalapácsos törőben, röpítő törőben stb.) és többsíkú vibrorostákkal, rezonancia szitákkal stb. osztályozzák, szükség esetén a durvább szemeket visszajuttatják az utántörőbe. Ezek a „kétszer tört" frakciók általában kielégítik az ún. „NZ" illetve az útépítésben „UNZ" (nemes zúzottkő) termékosztályok követelményét. A „KZ" illetve az útépítésben „UKZ" (különleges zúzottkő) termékosztályokat vagy különleges törőkkel (például röpítőtörő) vagy többszöri törésssel, és igen gondos osztályozással állítják elő. A készterméket

depóniákban tárolják, ahonnan a közúti és gépkocsi, esetleg a vízi úton történő szállítás egyaránt megoldott. (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998)

A zúzottkő anyagtani minőségét a kőzettani jellemzőkön túl a *kőzetfizikai*, és a kőbányászati feldolgozás során szerzett *technológiai* tulajdonságokkal fejezzük ki, megjegyezve, hogy a technikai tulajdonságok (például a szemalak) visszahatnak a termék kőzetfizikai tulajdonságaira (például a Los Angeles aprózódásra). A kőzetfizikai tulajdonságokat nem csak terméken, hanem kőzettömbből vagy fúrásmagból laboratóriumban kialakított vizsgálati mintán is meg lehet határozni.

Termékminősítő kőzetfizikai tulajdonság

- szilárdság, az ütés- és kopásállóság, amelyet a Los Angeles, Deval, mikro-Deval, csiszolódás vizsgálat eredményével jellemzünk,
- az időállóság, amelyet a szulfátos kristályosítási vizsgálat eredményével jellemzünk;

Termékminősítő technológiai tulajdonság

- a szemmegoszlás ◈, az osztályozás élessége, amelyet a szitavizsgálat eredményével jellemzünk,
- a finomszemek (0,02 mm-nél kisebb szemek) mennyisége, amelyet hidrometrálással vizsgálunk,
- a szemalak ◈, amelyet szemalak vizsgáló eszközökkel határozunk meg,
- a szerves vagy szervetlen (beleértve az agyag- és iszaptartalmat) szennyeződések, amelyeket szemrevételezéssel vagy kémiai elemzéssel vizsgálunk. (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998)

Az MSZ EN 12620:2003 európai beton adalékanyag szabvány nem tesz különbséget a természetes aprózódású homokos kavics, homok, kavics ◈ és a művi úton tört zúzottkő (zúzalék) között, ezért a szabvány a beton adalékanyagul szolgáló zúzottkövekre is érvényes, így értelemszerűen kell alkalmazni. A zúzottkő mindenek előtt aszfalt adalékanyag, ezért az MSZ EN 13043:2003 európai szabvány tárgykörébe is tartozik. Az MSZ EN 13043:2003 aszfalt adalékanyag szabvány felépítésében alig különbözik az MSZ EN 12620:2003 beton adalékanyag szabványtól, de némely követelménye (például a szemalak) annál szigorúbb. Az európai beton és aszfalt adalékanyag szabványok a magyar nemzeti zúzottkő szabványtól és előírástól több vonatkozásban (például szemnagyságok, szemalak, Los Angeles aprózódás) is eltérnek.

Felhasznált irodalom:

Beton-Kalender 1972. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München-Düsseldorf, 1972. II. kötet. p. 5.
MSZ 18291:1978 Zúzottkő (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)
ÚT 2-3.601:1998 Útépítési zúzott kőanyagok. Útügyi műszaki előírás
MSZ 4798:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
MSZ EN 13043:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületkezeléséhez

Jelmagyarázat: ◈ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

| Megjelent a | BETON szakmai havilap | 2004. január havi számának 16-17. oldalán |
|---|---|---|

45.

ÉPÍTŐANYAG

A SZILIKÁTIPARI
TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA

# Zúzottkő termékek szemmegoszlása a felhasználói igények szempontjából*

KAUSAY TIBOR
Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet, Budapest

* A XIV. Szilikátipari és Szilikáttudományi Konferencián elhangzott előadás alapján.

**Építőanyag, XXXVII. évf., 1985. 12. szám**

## Bevezetés

Mind a zúzottkő termékek (frakciók), mind a felhasználásukkal előállított aszfalt és beton adalékanyag keverékek szemmegoszlása szigorú szabvány és műszaki előírásoknak kell megfeleljen. Az adalékanyag keverékek szemmegoszlása egyrészt a termékek szemmegoszlásától, másrészt a termékek keverési arányától függ. A termékeket szemmegoszlásuk figyelembevételével olyan arányban kell összekeverni, hogy az adalékanyag keverék szemmegoszlása a követelményt a lehető legjobban kielégítse. A keverés arányszámai nagyságának a termékek szemmegoszlása szab határt.

*Fekete László* kőbánya vállalati műsz. igazgatóhelyettes ösztönzésére azt vizsgáltuk, hogy a zúzottkő termékek szemmegoszlás változása miképp befolyásolja az adalékanyag keverék előírt határgörbék szerinti összeállításának lehetőségét, hogy mekkora hibát okoz a termékek szemmegoszlásának előírttól való eltérése és ennek figyelmen kívül hagyása, hogy a termékek osztályozásának élességére milyen szigorú előírást indokolt adni, hogy az adalékanyag keverék szemmegoszlása a jelenlegi termékszemnagyság határok módosítása által javítható-e [1].

A kérdésekre a választ a zúzottkő termékek lehetséges keverékei szemmegoszlásának és az aszfaltok és betonok szemmegoszlási követelményének összehasonlításával kerestük.

## A vizsgálódás módszere

A zúzottkő termékek lehetséges keverékei szemmegoszlásának megszerkesztéséhez a *Z* és *NZ 0/5*, valamint a *Z*, *NZ* és *KZ 5/12* és *12/20* jelű frakciók 24 szabványos és 19 szabványon kívüli, összesen 43-féle fiktív szemmegoszlását képeztük.

A szabványos fiktív szemmegoszlásokat az *MSZ 18291—78* zúzottkő termékszabvány frakcióinak

átlag görbéi, valamint felső és alsó határgörbéi adták. Az átlag görbék az abszolút élesen osztályozott, a felső és alsó határgörbék a még éppen elfogadható frakciók megtestesítői. Példaként az *5/12* mm szemnagyságú szabványos fiktív zúzottkő frakciók szemmegoszlásjellemzőit mutatjuk be az *1. táblázatban.*

A szabványon kívüli fiktív szemmegoszlások — mint lehetséges szélső esetek — kialakításához a *Közlekedéstudományi Intézet* — a *Központi Bányászati Fejlesztési Intézet* mérési eredményeit statisztikusan feldolgozó — [2] vizsgálati jelentéseiből az egykori *Déldunántúli Kőbánya Vállalat* komlói andezit, uzsai bazalt és zalahalápi bazalt zúzottkövére vonatkozó 1982. évi adatokat használtuk fel. Példaként az *NZ 5/12* jelű szabványon kívüli zúzottkő termékek szemmegoszlás vizsgálati eredményei megengedettől való eltérésének átlagát és szórását szerepeltetjük a *2. táblázatban.* Az MSZ 18291—78 szabvány szerinti ellenőrzési jellemzőkhöz tartozó áthullott anyag mennyiségek megengedettől való eltérésének — bányánkénti és negyedévenkénti — átlag és szórás párjai közül a legnagyobb összegűek képezik a jellemzőnként várható legnagyobb eltéréseket, amelyekkel egyszeres szórást véve alapul egyoldali és kétoldali szélsőértékű felső és alsó — egy esetben középső — futású szabványon kívüli fiktív szemmegoszlásokat állítottunk elő.

Az ellenőrzési jellemzőhöz tartozó várható legnagyobb eltérést az ellenőrző szitán fennmaradt anyagra, a méreten felüli részre, a közbenső ellenőrző szita tűrésen aluli részére vonatkozóan a szemmegoszlási követelményből levonva az alsó, a közbenső ellenőrző szita tűrésen felüli részére, a méreten aluli részre, az 1,0 mm-nél, a 0,1 mm-nél, a 0,02 mm-nél kisebb részre vonatkozóan a szemmegoszlási követelményhez hozzáadva a felső egyoldali szélsőértékeket kaptuk meg. Vegyünk erre két példát. A *2. táblázat* szerint az *NZ 5/12* frakció méreten felüli része max. eltérésének átlaga 3 tömeg %, szórása 3 tömeg % és így várható legnagyobb eltérése $3+3=6$ tömeg %. Az *MSZ 18291—78* szabvány követelménye, hogy az *NZ 5/12* frakció méreten felüli része legfeljebb 10 tömeg % lehet, azaz a 12 mm-es szemnagyságnál a

szemmegoszlási görbe ordinátájának követelmény értéke min 90 tömeg %. A 90 tömeg % és a 6 tömeg % különbsége 84 tömeg %, ami a szabványon kívüli *NZ 5/12* termék szemmegoszlásának mértékadó ordinátája a 12 mm szemnagyságnál. Ugyancsak a *2. táblázat* szerint az *NZ 5/12* frakció közbenső ellenőrző szita tűrésen felüli része max eltérésének átlaga 8 tömeg %, szórása 3 tömeg % és így várható legnagyobb eltérése $8+3=11$ tömeg %. Az *MSZ 18291—78* szabvány követelménye, hogy az *NZ 5/12* frakció közbenső ellenőrző szitán fennmaradó része felső tűréshatára $50+15$ tömeg %, azaz a 8 mm-es szemnagyságnál a szemmegoszlási görbe ordinátájának követelmény értéke max. 65 tömeg %. A 65 tömeg % és a 11 tömeg % összege 76 tömeg %, ami a szabványon kívüli *NZ 5/12* termék szemmegoszlásának mértékadó ordinátája a 8 mm szemnagyságnál.

A kétoldali szélsőértékű szabványon kívüli fiktív szemmegoszlások a gyakorlatnak megfelelően a finomszemek tartományában a felső, a durvaszemek tartományában az alsó egyoldali szélsőértékű szemmegoszlásokkal esnek egybe, és az átmeneti tartományban elfoglalt helyük szerint ugyancsak felső és alsó futásúak. Példaként az *5/12* mm szemnagyságú szabványon kívüli fiktív zúzottkő frakciók szemmegoszlás jellemzőit adjuk meg a *3. táblázatban.*

A fiktív zúzottkő frakciók szemmegoszlás jellemzőit, nevezetesen az $m_1$ várható érték, a $\sigma^2$ szórás négyzet, a $\sigma$ szórás, a $\sigma^2/m_1^2$ relatív szórás négyzet, a $d_{\text{átl}}$ átlagos szemnagyság, az $m_{\text{techn}}$ logaritmikus technikai finomsági modulus, az $m_{\text{term}}$ logaritmikus termékminősítő finomsági modulus, az $f_v$ térfogati fajlagos felület értékét az *M Z 18288/5—81* szabvány szerint számítottuk ki [3]. A szemmegoszlás jellemzők *4. táblázatbeli* értékei azt bizonyítják, hogy a fiktív frakciók a szemmegoszlások széles tartományát ölelik fel.

*1. táblázat*

*Az 5/12 mm szemnagyságú szabványos fiktív zúzottkő frakciók szemmegoszlásjellemzői*

| Termékosztály | KZ | | | NZ | | | Z | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tűréshatár | felső | átlag | alsó | felső | átlag | alsó | felső | átlag | alsó |
| Szemnagyság mm | Áthullott összes anyag relatív tömegaránya | | | | | | | | |
| 0,02 | 0,01 | 0,005 | | 0,04 | 0,02 | | 0,06 | 0,03 | |
| 0,1 | 0,01 | 0,005 | | 0,04 | 0,02 | | 0,06 | 0,03 | |
| 1 | 0,03 | 0,015 | | 0,06 | 0,03 | | 0,10 | 0,05 | |
| 5 | 0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,15 | 0,075 | 0,00 | 0,20 | 0,10 | 0,00 |
| 8 | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 0,65 | 0,50 | 0,35 | 0,65 | 0,50 | 0,35 |
| 12 | 1,00 | 0,975 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 1,00 | 0,925 | 0,85 |
| 20 | | 1,00 | 1,00 | | 1,00 | 1,00 | | 1,00 | 1,00 |
| $m_1$ mm | 7,471 | 8,186 | 8,900 | 7,031 | 8,203 | 9,375 | 6,748 | 8,211 | 9,675 |
| $\sigma^2$ mm² | 8,9527 | 9,6818 | 9,3900 | 10,3892 | 12,6099 | 12,0844 | 12,2147 | 15,6344 | 14,7694 |
| $\sigma$ mm | 2,992 | 3,112 | 3,064 | 3,223 | 3,551 | 3,476 | 3,495 | 3,954 | 3,843 |
| $\sigma^2/m_1^2$ | 0,1604 | 0,1445 | 0,1185 | 0,2101 | 0,1874 | 0,1375 | 0,2683 | 0,2319 | 0,1578 |
| $d_{átl}$ mm | 6,137 | 7,186 | 8,415 | 4,730 | 6,452 | 8,800 | 3,814 | 5,860 | 9,004 |
| $m_{techn}$ | 7,108 | 7,335 | 7,563 | 6,732 | 7,180 | 7,628 | 6,421 | 7,041 | 7,661 |
| $m_{termékmin}$ | 7,156 | 7,389 | 7,622 | 6,869 | 7,282 | 7,694 | 6,633 | 7,174 | 7,716 |
| $f_v$ m²/mm³ | 33,149 | 16,952 | 0,754 | 127,690 | 64,208 | 0,725 | 191,338 | 96,026 | 0,714 |
| Frakció sorszáma | 21. | 20. | 15. | 29. | 22. | 16. | 32. | 25. | 18. |

*2. táblázat*

*Az NZ 5/12 jelű szabványon kívüli zúzottkő termékek megengedettől való 1982. évi eltérés értékei*

| Kőbánya | Komló | | | | Uzsa | | | | Zalahaláp | | | | Max. eltérés | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1982. negyedév | I. | II. | III. | IV. | I. | II. | III. | IV. | I. | II. | III. | IV. | értéke | szem-megoszl. ord. |
| Ellenőrzési jellemző | Az áthullott anyag mennyiségének megengedettől való eltérése, tömeg% | | | | | | | | | | | | | |
| Ellenőrző szitán (20 mm) fennmaradt, db | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 0 | 100 |
| átlag | | | | | | | | | | | | | 0 | 100 |
| szórás | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| Méreten (12 mm) felüli rész, db | 2 | – | – | – | 13 | 5 | 2 | 2 | – | 1 | 1 | – | | |
| átlag | 3 | | | | 3 | 2 | 5 | 2 | | 3 | 1 | | 3 | 84 |
| szórás | 1 | | | | 3 | 1 | 0 | 1 | | 0 | 0 | | 3 | |
| Közb. ell. szita (8 mm) tűrésen felüli rész, db | 1 | – | 5 | – | 8 | – | – | – | 1 | 5 | 4 | 3 | | |
| átlag | 1 | | 3 | | 6 | | | | 1 | 8 | 4 | 7 | 8 | 76 |
| szórás | 0 | | 3 | | 5 | | | | 0 | 3 | 3 | 1 | 3 | |
| Közb. ell. szita (8 mm) tűrésen aluli rész, db | – | – | – | – | 3 | – | – | 1 | 18 | 6 | 15 | 5 | | |
| átlag | | | | | 3 | | | 3 | 7 | 6 | 8 | 5 | 8 | 22 |
| szórás | | | | | 2 | | | 0 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | |
| Méreten (5 mm) aluli rész, db | 1 | – | – | – | 4 | 1 | – | – | 33 | 25 | 28 | 14 | | |
| átlag | 2 | | | | 4 | 2 | | | 12 | 5 | 11 | 11 | 12 | 35 |
| szórás | 0 | | | | 2 | 0 | | | 8 | 5 | 6 | 8 | 8 | |
| 1,0 mm-nél kisebb rész db | – | – | – | – | – | – | – | – | 4 | 1 | 4 | 2 | | |
| átlag | | | | | | | | | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 13 |
| szórás | | | | | | | | | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | |
| 0,1 mm-nél kisebb rész db | – | – | – | – | – | – | – | – | 1 | – | – | – | | |
| átlag | | | | | | | | | 4 | | | | 4 | 8 |
| szórás | | | | | | | | | 0 | | | | 0 | |
| Vizsgálatok száma | 6 | 2 | 33 | 48 | 107 | 117 | 91 | 65 | 62 | 56 | 56 | 49 | | |
| Ebből szabványon kívüli eredm. | 3 | 0 | 5 | 0 | 22 | 5 | 2 | 3 | 38 | 31 | 34 | 17 | | |

*3. táblázat*

*Az 5/12 mm szemnagyságú szabványon kívüli fiktív zúzottkő frakciók szemmegoszlásjellemzői*

| Frakció | KZ 5/12 | | NZ 5/12 | | KZ 5/12 | | NZ 5/12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Szélsőérték | Egyoldali | | | | Kétoldali | | | |
| | felső | alsó | felső | alsó | felső | alsó | felső | alsó |
| Szemnagyság, mm | Áthullott összes anyag relatív tömeg aránya | | | | | | | |
| 0,02 | 0,01 | | 0,04 | | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,04 |
| 0,1 | 0,01 | | 0,08 | | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,08 |
| 1 | 0,03 | | 0,13 | | 0,03 | 0,03 | 0,13 | 0,13 |
| 5 | 0,14 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,14 | 0,14 | 0,35 | |
| 8 | 0,67 | 0,34 | 0,76 | 0,22 | 0,67 | 0,34 | 0,76 | 0,22 |
| 12 | 1,00 | 0,87 | 1,00 | 0,84 | 0,87 | 0,87 | 0,84 | 0,84 |
| 20 | | 1,00 | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $m_1$ mm | 7,086 | 9,590 | 5,755 | 10,190 | 7,866 | 9,021 | 6,715 | 9,195 |
| $\sigma^2$ mm² | 9,1322 | 13,6419 | 12,9668 | 13,9539 | 19,3095 | 19,4398 | 27,8749 | 26,3966 |
| $\sigma$ mm | 3,022 | 3,693 | 3,601 | 3,735 | 4,394 | 4,409 | 5,280 | 5,138 |
| $\sigma^2/m_1^2$ | 0,1819 | 0,1483 | 0,3915 | 0,1344 | 0,3121 | 0,2389 | 0,6181 | 0,3122 |
| $d_{atl}$ mm | 5,709 | 8,961 | 2,953 | 9,575 | 6,059 | 7,001 | 3,177 | 4,705 |
| $m_{techn}$ | 7,003 | 7,654 | 6,052 | 7,749 | 7,089 | 7,298 | 6,158 | 6,724 |
| $m_{termékmin}$ | 7,034 | 7,717 | 6,197 | 7,850 | 7,091 | 7,421 | 6,267 | 7,002 |
| $f_v$ mm²/mm³ | 33,279 | 0,715 | 136,192 | 0,666 | 33,250 | 33,134 | 136,156 | 135,605 |
| Frakció sorszám | 26. | 17. | 35. | 11. | 30. | 24. | 36. | 28. |

*4. táblázat*

*Fiktív zúzottkő frakciók sora osztályozottság szerint*

| Sor-szám | Sorrend szerint: fin. mod. | Sorrend szerint: rel. sz. n. | Frakció: jele | Frakció: jellege | Frakció: elhelyezkedése | Finomsági modulus: $m_1$ mm | Finomsági modulus: $m_{techn.}$ | Rel. szórásnégyzet $\sigma^2/m_1^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2. | 2. | KZ 12/20 | SKE | a | 17,545 | 8,587 | 0,0593 |
| 2. | 5. | 1. | KZ 12/20 | SZ | a | 16,875 | 8,532 | 0,0571 |
| 3. | 3. | 6. | NZ 12/20 | SKE | a | 17,380 | 8,536 | 0,1152 |
| 4. | 4. | 5. | NZ 12/20 | SZ | a | 17,150 | 8,521 | 0,1086 |
| 5. | 1. | 9. | Z 12/20 | SZ | a | 17,725 | 8,559 | 0,1238 |
| 6. | 7. | 3. | KZ 12/20 | SZ | á | 15,800 | 8,316 | 0,0776 |
| 7. | 11. | 4. | KZ 12/20 | SZ | f | 14,726 | 8,099 | 0,0930 |
| 8. | 8. | 12. | NZ 12/20 | SZ | á | 15,706 | 8,142 | 0,1443 |
| 9. | 6. | 15. | KZ 12/20 | SKK | a | 16,296 | 8,157 | 0,1505 |
| 10. | 13. | 8. | KZ 12/20 | SKE | f | 14,231 | 7,988 | 0,1199 |
| 11. | 17. | 10. | NZ 5/12 | SKE | a | 10,190 | 7,749 | 0,1344 |
| 12. | 9. | 20. | Z 12/20 | SZ | á | 15,661 | 7,994 | 0,1811 |
| 13. | 10. | 19. | KZ 12/20 | SKK | f | 14,896 | 8,028 | 0,1750 |
| 14. | 12. | 18. | NZ 12/20 | SZ | f | 14,261 | 7,762 | 0,1725 |
| 15. | 23. | 7. | KZ 5/12 | SZ | a | 8,900 | 7,563 | 0,1185 |
| 16. | 20. | 11. | NZ 5/12 | SZ | a | 9,375 | 7,628 | 0,1375 |
| 17. | 19. | 14. | KZ 5/12 | SKE | a | 9,590 | 7,654 | 0,1483 |
| 18. | 18. | 16. | Z 5/12 | SZ | a | 9,675 | 7,661 | 0,1578 |
| 19. | 14. | 25. | Z 12/20 | SZ | f | 13,597 | 7,428 | 0,2241 |
| 20. | 26. | 13. | KZ 5/12 | SZ | á | 8,186 | 7,335 | 0,1445 |
| 21. | 28. | 17. | KZ 5/12 | SZ | f | 7,471 | 7,108 | 0,1604 |
| 22. | 25. | 22. | NZ 5/12 | SZ | á | 8,203 | 7,180 | 0,1874 |
| 23. | 16. | 33. | NZ 12/20 | SKE | f | 11,767 | 7,153 | 0,3515 |
| 24. | 22. | 28. | KZ 5/12 | SKK | a | 9,021 | 7,298 | 0,2389 |
| 25. | 24. | 26. | Z 5/12 | SZ | á | 8,211 | 7,041 | 0,2319 |
| 26, | 29. | 21. | KZ 5/12 | SKE | f | 7,086 | 7,003 | 0,1819 |
| 27. | 15. | 37. | NZ 12/20 | SKK | k | 13,147 | 7,246 | 0,4579 |
| 28. | 21. | 31. | NZ 5/12 | SKK | a | 9,195 | 6,724 | 0,3122 |
| 29. | 30. | 23. | NZ 5/12 | SZ | f | 7,031 | 6,732 | 0,2101 |
| 30. | 27. | 30. | KZ 5/12 | SKK | f | 7,866 | 7,089 | 0,3121 |
| 31. | 34. | 24. | NZ 0/5 | SKE | a | 4,605 | 6,523 | 0,2164 |
| 32. | 31. | 29. | Z 5/12 | SZ | f | 6,748 | 6,421 | 0,2683 |
| 33. | 36. | 27. | NZ 0/5 | SZ | a | 3,550 | 6,108 | 0,2339 |
| 34. | 35. | 32. | NZ 0/5 | SKK | a | 4,351 | 5,733 | 0,3281 |
| 35. | 33. | 35. | NZ 5/12 | SKE | f | 5,755 | 6,052 | 0,3915 |
| 36. | 32. | 39. | NZ 5/12. | SKK | f | 6,715 | 6,158 | 0,6181 |
| 37. | 37. | 34. | Z 0/5 | SZ | a | 3,518 | 5,562 | 0,3539 |
| 38. | 39. | 36. | NZ 0/5 | SZ | á | 2,815 | 5,243 | 0,4461 |
| 39. | 38. | 38. | Z 0/5 | SZ | á | 2,847 | 4,565 | 0,5393 |
| 40. | 41. | 41. | Z 0/5 | SZ | f | 2,177 | 3,569 | 0,7314 |
| 41. | 42. | 40. | NZ 0/5 | SZ | f | 2,079 | 4,377 | 0,7028 |
| 42. | 40. | 43. | NZ 0/5 | SKK | f | 2,561 | 3,904 | 1,5106 |
| 43. | 43. | 42. | NZ 0/5 | SKE | f | 1,696 | 3,673 | 1,1241 |

A zúzottkövek fiktív frakcióinak egymáshoz való viszonyát a szemmegoszlásjellemzők jól kifejezik. A frakciók osztályozottsága összefügg a finomsági modulus és a relatív szórás négyzet nagyságával, ezért a 43-féle szemmegoszlási változatot a finomsági modulus csökkenő és a relatív szórás négyzet növekvő nagysága szerint a *4. táblázatban* sorrendbe szedtük, és sorszámmal láttuk el. A *4. táblázatban SZ* szabványos frakciót, *SKE* szabványon kívüli frakció egyoldali szélsőértékét, *SKK* kétoldali szélsőértékét, *f* felső tűréshatárt vagy szélsőértékeket, *a* alsó tűréshatárt vagy szélsőértékeket, *á* átlagos helyzetet jelöl.

A zúzottkő frakciókból összeállítható adalékanyag keverékek és az aszfalt és beton szemmegoszlási követelmények akkor hasonlíthatók össze, ha a keverékek és a követelmények megadott szemmegoszlási értékei azonos szemnagyságokhoz tartoznak. Ezért valamennyi fiktív frakció szemmegoszlási értékét az aszfalt és beton előírások szemnagyságaira adaptáltuk. Az adaptálás során a szemmegoszlási görbéket logaritmikus skálabeosztású abszcisszatengely felett a töréspontok közötti egyenes szakaszokból összetettekként kezeltük.

Az adalékanyag keverékek szemmegoszlásának és az aszfalt és beton szemmegoszlási követelményeknek az összehasonlítását az *MSZ—07 3210/1—81* ágazati szabvány szerinti *VA-20* jelű vízáteresztő aszfaltra, *AB-20* jelű aszfaltbetonra, *ÉHA-20* jelű érdesített homokaszfaltra, továbbá a *TV Beton 72* és *RStO 75* NSZK irányelvek figyelembevételével készített *SZIKKTI* ajánlás szerinti *útbetonra* — értve alatta a 20 mm legnagyobb szemnagysággal készülő előregyártott feszített pályaszerkezeti elemet — és az *MI—04.19—81* ágazati műszaki irányelv szerinti *I. osztályú* és *II. osztályú* szemmegoszlással készített 20 mm legnagyobb szemnagyságú *szerkezeti betonokra* végeztük el. Az aszfaltok és betonok szem-

megoszlási követelményének középértékét az *5. táblázat* tartalmazza.

A bedolgozhatóság érdekében a zúzottkő adalékanyagú útbetonok és szerkezeti betonok 4 mm alatti adalékanyagának egyrésze gömbölyű alakú bányahomok. Útbeton esetén a homok a 4 mm alatti szemek $h = 0{,}5$ tömegarányát, szerkezeti beton esetén $h = 0{,}667$ tömegarányát teszi ki. Ahhoz, hogy a betonok zúzottkő adalékanyaga szemmegoszlásának követelményét megkapjuk, képezni kell a teljes szemmegoszlási követelmény és a homok szemmegoszlása súlyozott különbségét. Valamely adott $d$ szemnagyságra nézve a 4 mm alatti szemek $h$ tömegaránya, az eredeti követelmény 4 mm szemnagyságnál felvett $p_4$ szemmegoszlási értéke, az eredeti követelmény adott $d$ szemnagyságnál felvett $p_e$ szemmegoszlási értéke ismeretében a zúzottkő keverék $p_z$ szemmegoszlási értékét

d $\leqq$ 4 mm esetén a

$$p_z = (p_e - h \cdot p_e) \cdot \frac{100}{100 - h \cdot p_4} \text{ [tömeg \%]}$$

$d \geqq 4$ mm esetén a

$$p_z = (p_e - h \cdot p_4) \cdot \frac{100}{100 - h \cdot p_4} \text{ [tömeg \%]}$$

összefüggésből számítottuk ki. A számítás eredményét az *5. táblázatban* tüntettük fel.

## A zúzottkő keverékek aszfalt és beton készítési alkalmassága

Ezen előkészítés után azt vizsgáltuk, hogy a *4. táblázat* szabványos és szabványon kívüli fiktív zúzottkő frakcióiból milyen pontossággal állíthatók elő a szemmegoszlási követelménynek *5. táblázatbeli* középértékei által meghatározott aszfalt és beton zúzottkőadalékanyagok.

*5. táblázat*

*A 20 mm legnagyobb szemnagyságú aszfaltok és betonok szemmegoszlási tartományának középértékei* [tömeg%]

| Követelmény | Eredeti, egyben zúzottkő | | | Eredeti | | | Szerketi beton | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Szemnagyság mm | Aszfaltok | | | Szerkezeti beton | | Előregyártott útbeton elem | Szerkezeti beton | | Előregyártott útbeton elem |
| | VA-20 | AB-20 | ÉHA-20 | I. | II. | | I. | II. | |
| 0,063 | | | | 1,5 | 1,5 | 3 | 0,71 | 0,85 | 1,88 |
| 0,090 | 3,5 | 8 | 13 | | | | | | |
| 0,125 | | | | 2 | 5 | 5 | 0,95 | 2,84 | 3,12 |
| 0,20 | 6 | 17,5 | 40 | | | | | | |
| 0,25 | | | | 5,5 | 13 | 7 | 2,61 | 7,39 | 4,38 |
| 0,50 | | | | 12 | 24,5 | 14 | 5,69 | 13,92 | 8,75 |
| 0,63 | 10 | 25 | 55 | | | | | | |
| 1,0 | | | | 19,5 | 35,5 | 25 | 9,24 | 20,17 | 15,63 |
| 2,0 | 13,5 | 40 | 64 | 30,5 | 48,5 | 32 | 14,45 | 27,56 | 20 |
| 4,0 | | | | 44,5 | 62,0 | 40 | 21,09 | 35,23 | 25 |
| 5,0 | 18,5 | 50 | 68 | | | | | | |
| 8,0 | 26 | 60 | 70 | 64,5 | 78,5 | 52 | 49,53 | 63,35 | 40 |
| 12,0 | | | | 77,5 | 87 | 67 | 68,01 | 77,84 | 58,75 |
| 12,5 | 37,5 | 70 | 74,5 | | | | | | |
| 16 | | | | 90 | 93 | 82 | 85,78 | 88,07 | 77,50 |
| 20 | 95 | 95 | 90 | 97 | 98,5 | 95 | 95,73 | 97,44 | 93,75 |
| 24 | | | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 25 | 100 | 100 | 100 | | | | | | |

*6. táblázat*

*Az adalékanyag keverékek jellemzői*

| Névl. szemnagyság, mm | | 0/5 | 5/12 | 12/20 |
|---|---|---|---|---|
| Keverék | Frakciók | A frakciók | | |
| jele | | termékosztálya — jellege — elhelyezkedése | | |
| 1. | 31-17-1 | NZ-SKE-a | KZ-SKE-a | KZ-SKE-a |
| 2. | 43-24-1 | NZ-SKE-f | KZ-SKK-a | KZ-SKE-a |
| 3. | 40-26-1 | Z-SZ-f | KZ-SKE-f | KZ-SKE-a |
| 4. | 43-35-1 | NZ-SKE-f | NZ-SKE-f | KZ-SKE-a |
| 5. | 33-15-2 | NZ-SZ-a | KZ-SZ-a | KZ-SZ-a |
| 6. | 31-11-3 | NZ-SKE-a | NZ-SKE-a | NZ-SKE-a |
| 7. | 43-28-3 | NZ-SKE-f | NZ-SKK-a | NZ-SKE-a |
| 8. | 43-35-3 | NZ-SKE-f | NZ-SKE-f | NZ-SKE-a |
| 9. | 37-16-4 | Z-SZ-a | NZ-SZ-a | NZ-SZ-a |
| 10. | 38-20-6 | NZ-SZ-á | KZ-SZ-á | KZ-SZ-á |
| 11. | 43-55-6 | NZ-SKE-f | NZ-SKE-f | KZ-SZ-á |
| 12. | 38-21-7 | NZ-SZ-á | KZ-SZ-f | KZ-SZ-f |
| 13. | 40-22-8 | Z-SZ-f | NZ-SZ-á | NZ-SZ-á |
| 14. | 40-26-10 | Z-SZ-f | KZ-SKE-f | KZ-SKE-f |
| 15. | 43-30-10 | NZ-SKE-f | KZ-SKK-f | KZ-SKE-f |
| 16. | 41-25-12 | NZ-SZ-f | Z-SZ-á | Z-SZ-á |
| 17. | 41-29-14 | NZ-SZ-f | NZ-SZ-f | NZ-SZ-f |
| 18. | 43-32-19 | NZ-SKE-f | Z-SZ-f | Z-SZ-f |
| 19. | 43-17-23 | NZ-SKE-f | KZ-SKE-a | NZ-SKE-f |
| 20. | 43-20-23 | NZ-SKE-f | KZ-SZ-á | NZ-SKE-f |
| 21. | 43-35-23 | NZ-SKE-f | NZ-SKE-f | NZ-SKE-f |
| 22. | 43-36-23 | NZ-SKE-f | NZ-SKK-f | NZ-SKE-f |

*Útbeton keverékek zúzottkő-adalékanyag frakcióinak relatív tömegaránya*

*7. táblázat*

| Függv. típus | Szemn. mm | Term. oszt. | Függv. helye | Frakc. sorsz. | Keverékek jele 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Szabványos termékek határ függvénye | 0/5 | NZ | felső | 41. | | | | | | | | | | 0,3260 | |
| | | | átlag | 38. | | | | | 0,3650 | | | | | | |
| | | | alsó | 33. | | | | | | | | | | | |
| | | Z | felső | 40. | | | 0,2308 | | | | | | | | |
| | | | alsó | 37. | | | | | | | | | 0,4038 | | |
| | 5/12 | KZ | felső | 21. | | | | | | | | | | 0,2242 | |
| | | | átlag | 20. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsóát | 15. | | | | | 0,2267 | | | | | | |
| | | NZ | felső | 29. | | | | | | | | | | | |
| | | | átlag | 22. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 16. | | | | | | | | | 0,1710 | | |
| | | Z | felső | 32. | | | | | | | | | | | |
| | | | átlag | 25. | | | | | | | | | | | |
| | 12/20 | KZ | felső | 7. | | | | | | | | | | 0,4498 | 0,4640 |
| | | | átlag | 6. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 2. | | | | | 0,4083 | | | | | | |
| | | NZ | felső | 14. | | | | | | | | | | | |
| | | | átlag | 8. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 4. | | | | | | | | | 0,4252 | | |
| | | Z | felső | 19. | | | | | | | | | | | |
| | | | átlag | 12. | | | | | | | | | | | |
| Szabványon kívüli termékek | egyoldali szélső függvénye 0/5 | NZ | felső | 43. | | 0,2229 | | 0,0955 | | | 0,2160 | 0,1183 | | | 0,1056 |
| | | | alsó | 31. | 0,4127 | | | | | 0,4360 | | | | | |
| | 5/12 | KZ | felső | 26. | | | 0,3600 | | | | | | | | |
| | | | alsó | 17. | 0,2158 | | | | | | | | | | |
| | | NZ | felső | 35. | | | | 0,4924 | | | | 0,4327 | | | 0,4304 |
| | | | alsó | 11. | | | | | | 0,1559 | | | | | |
| | 12/20 | KZ | felső | 10. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 1. | 0,3715 | 0,3201 | 0,4092 | 0,4121 | | | | | | | |
| | | NZ | felső | 23. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 3. | | | | | | 0,4081 | 0,3624 | 0,4490 | | | |
| | kétoldali szélső függvénye 5/12 | KZ | felső | 30. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 24. | | 0,4570 | | | | | | | | | |
| | | NZ | felső | 36. | | | | | | | | | | | |
| | | | alsó | 28. | | | | | | | 0,4216 | | | | |

*7. táblázat folytatása*

| Függv. típus | | Szemn. mm | Term. oszt. | Függv. helye | Frakc. sorsz. | Keverékek jele | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. |
| Szabványos termékek határ függvénye | | 0/5 | NZ | felső<br>átlag<br>alsó | 41.<br>38.<br>33. | 0,2918 | | | | 0,2245 | 0,1929 | | | | | |
| | | | Z | felső<br>alsó | 40.<br>37. | | 0,2309 | 0,2064 | | | | | | | | |
| | | 5/12 | KZ | felső<br>átlag<br>alsó | 21.<br>20.<br>15. | 0,2168 | | | | | | | | 0,2411 | | |
| | | | NZ | felső<br>átlag<br>alsó | 29.<br>22.<br>16. | | 0,3229 | | | | 0,2994 | | | | | |
| | | | Z | felső<br>átlag | 32.<br>25. | | | | | 0,3230 | | 0,3769 | | | | |
| | | 12/20 | KZ | felső<br>átlag<br>alsó | 7.<br>6.<br>2. | 0,4914 | | | | | | | | | | |
| | | | NZ | felső<br>átlag<br>alsó | 14.<br>8.<br>4. | | 0,4462 | | | | 0,5077 | | | | | |
| | | | Z | felső<br>átlag | 19.<br>12. | | | | | 0,4525 | | 0,5167 | | | | |
| Szabványon kívüli termékek | egyoldali szélső függvénye | 0/5 | NZ $\xi$ | felső<br>alsó | 43.<br>31. | | | | 0,1885 | | | 0,1064 | 0,1522 | 0,1256 | 0,0365 | 0,0348 |
| | | 5/12 | KZ | felső<br>alsó | 26.<br>17. | | | 0,2818 | | | | | 0,2742 | | | |
| | | | NZ | felső<br>alsó | 35.<br>11. | | | | | | | | | | 0,2672 | |
| | | 12/20 | KZ | felső<br>alsó | 10.<br>1. | | | 0,5118 | 0,4776 | | | | | | | |
| | | | NZ | felső<br>alsó | 23.<br>3. | | | | | | | | 0,5736 | 0,6333 | 0,6963 | 0,6989 |
| | kétoldali szélső függvénye | 5/12 | KZ | felső<br>alsó | 30.<br>24. | | | | 0,3339 | | | | | | | |
| | | | NZ | felső<br>alsó | 36.<br>28. | | | | | | | | | | | 0,2663 |

*Útbeton keverékek zúzottkő-adalékanyagának szemmegoszlási értékei*

| Keverék jele | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Szemnagys. mm | Áthullott összes anyag mennyisége, % | | | | | | | | | | |
| 0,063 | 0,0 | 2,7 | 3,8 | 4,3 | 0,0 | 0,0 | 5,0 | 4,1 | 0,0 | 1,4 | 4,2 |
| 0,125 | 0,0 | 4,5 | 4,7 | 5,9 | 0,0 | 0,0 | 7,4 | 5,8 | 0,9 | 2,2 | 5,8 |
| 0,25 | 0,0 | 8,1 | 7,2 | 8,0 | 0,0 | 0,0 | 11,2 | 8,2 | 3,8 | 3,9 | 8,1 |
| 0,50 | 0,0 | 11,6 | 9,8 | 10,2 | 0,0 | 0,0 | 15,0 | 10,6 | 6,7 | 5,6 | 10,3 |
| 1 | 0,0 | 15,2 | 12,3 | 12,3 | 0,0 | 0,0 | 18,9 | 13,0 | 9,6 | 7,3 | 12,6 |
| 2 | 3,4 | 18,1 | 16,4 | 17,3 | 8,1 | 3,6 | 20,8 | 17,4 | 12,4 | 14,3 | 17,5 |
| 4 | 18,9 | 24,8 | 24,0 | 23,9 | 24,1 | 19,9 | 26,5 | 24,0 | 25,5 | 27,0 | 24,3 |
| 8 | 47,0 | 37,8 | 47,2 | 47,0 | 45,6 | 45,3 | 30,9 | 44,7 | 46,4 | 45,8 | 45,3 |
| 12 | 60,0 | 62,0 | 59,1 | 58,8 | 58,0 | 56,7 | 57,0 | 55,1 | 55,8 | 56,7 | 55,9 |
| 16 | 72,0 | 74,3 | 70,5 | 70,3 | 75,0 | 78,3 | 78,8 | 77,4 | 78,3 | 77,3 | 76,8 |
| 20 | 97,4 | 97,8 | 97,1 | 97,1 | 98,0 | 95,1 | 95,7 | 94,6 | 95,7 | 98,9 | 98,8 |
| 24 | 98,3 | 98,5 | 98,1 | 98,1 | 98,6 | 96,7 | 97,1 | 96,4 | 97,2 | 99,2 | 99,2 |
| 35 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

*8. táblázat*

| Keverék jele | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | Követelmény |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Szemnagys. mm | Áthullott összes anyag mennyisége, tömeg % | | | | | | | | | | | |
| 0,063 | | | | | | | | | | | | |
| 0,125 | 1,7 | 4,8 | 3,9 | 2,7 | 3,6 | 4,0 | 5,9 | 3,3 | 3,3 | 4,3 | 4,3 | 1,2 – 2,6 |
| 0,25 | 2,4 | 5,6 | 4,7 | 4,3 | 4,7 | 5,0 | 7,0 | 4,7 | 4,5 | 5,3 | 5,3 | 1,8 – 4,6 |
| 0,50 | 4,1 | 8,2 | 7,1 | 7,4 | 7,3 | 7,4 | 9,5 | 7,6 | 7,2 | 7,1 | 7,0 | 2,4 – 6,5 |
| 1 | 5,8 | 10,8 | 9,5 | 10,5 | 9,9 | 9,7 | 12,0 | 10,5 | 9,9 | 8,8 | 8,8 | 6,0 – 11,8 |
| 2 | 7,5 | 13,4 | 11,9 | 13,6 | 12,4 | 12,1 | 14,5 | 13,5 | 12,6 | 10,6 | 10,5 | 12,0 – 19,6 |
| 4 | 14,7 | 16,9 | 17,2 | 17,5 | 17,4 | 17,7 | 18,2 | 19,2 | 19,2 | 19,7 | 19,6 | 15,6 – 24,8 |
| 8 | 27,1 | 24,2 | 25,7 | 24,7 | 25,4 | 25,9 | 23,7 | 27,6 | 27,9 | 29,4 | 29,3 | 19,8 – 30,7 |
| 12 | 46,5 | 42,2 | 46,1 | 47,4 | 42,7 | 45,6 | 44,4 | 44,4 | 46,5 | 48,0 | 47,9 | 32,9 – 47,7 |
| 16 | 55,8 | 57,1 | 56,5 | 55,1 | 56,9 | 56,8 | 58,7 | 62,0 | 61,4 | 58,2 | 53,8 | 52,1 – 66,0 |
| 20 | 80,3 | 80,0 | 81,1 | 80,4 | 79,3 | 81,2 | 81,9 | 83,4 | 83,1 | 81,8 | 79,8 | 71,3 – 84,3 |
| 24 | 100,0 | 97,8 | 100,0 | 100,0 | 96,6 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 88,0 – 100,0 |
| 35 | | 98,5 | | | 97,7 | | | | | | | 100 |
| | | 100,0 | | | 100,0 | | | | | | | |

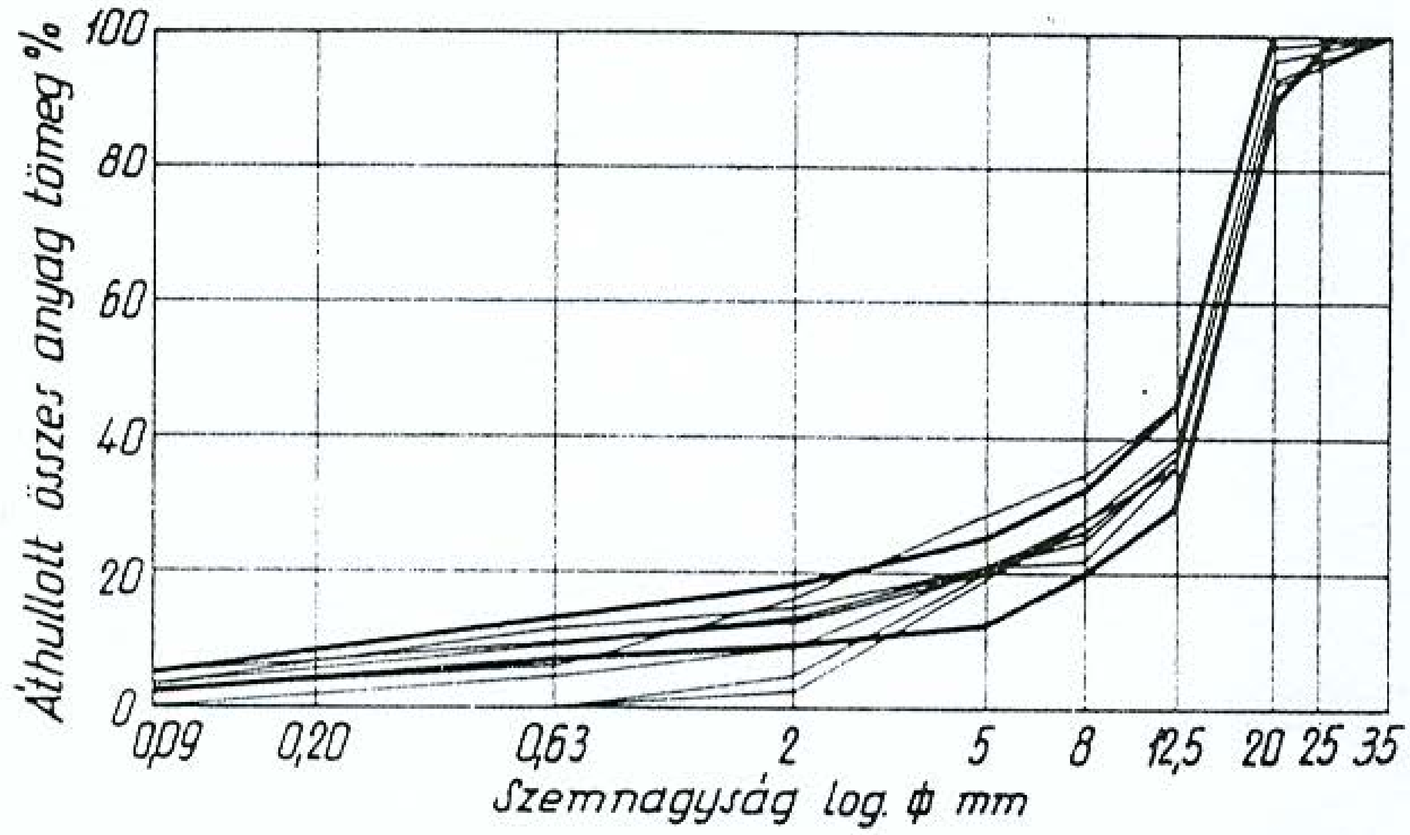
*9. táblázat*

*Az aszfalt és beton keverékek zúzőttkő-adalékanyaga szemmegoszlásának korrelációs jellemzői*

| Érték | I Korrelációs index | S Standard hiba [tömeg %] | H Relatív hiba [%] |
|---|---|---|---|
| VA-20 vízáteresztő aszfalt | | | |
| Legnagyobb | 0,9994 | 5,87 | 22,35 |
| Legkisebb | 0,9778 | 1,24 | 3,59 |
| Átlag | 0,9923 | 3,43 | 11,44 |
| Szórás | 0,0080 | 1,76 | 6,29 |
| AB-20 aszfaltbeton | | | |
| Legnagyobb | 0,9965 | 15,71 | 30,38 |
| Legkisebb | 0,8602 | 2,58 | 5,00 |
| Átlag | 0,9693 | 5,94 | 11,94 |
| Szórás | 0,0435 | 4,32 | 8,30 |
| ÉHA-20 érdesített homokaszfalt | | | |
| Legnagyobb | 0,9251 | 30,73 | 48,14 |
| Legkisebb | 0,0000 | 10,43 | 16,34 |
| Átlag | 0,6387 | 16,33 | 26,28 |
| Szórás | 0,3433 | 6,80 | 10,56 |
| Útbeton | | | |
| Legnagyobb | 0,9979 | 7,97 | 21,32 |
| Legkisebb | 0,9732 | 2,24 | 5,98 |
| Átlag | 0,9915 | 4,03 | 11,52 |
| Szórás | 0,0066 | 1,52 | 4,04 |
| I. osztályú szerkezeti beton | | | |
| Legnagyobb | 0,9993 | 8,00 | 21,16 |
| Legkisebb | 0,9774 | 1,38 | 3,66 |
| Átlag | 0,9951 | 3,28 | 9,23 |
| Szórás | 0,0049 | 1,53 | 4,14 |
| II. osztályú szerkezeti beton | | | |
| Legnagyobb | 0,9983 | 10,06 | 22,57 |
| Legkisebb | 0,9617 | 2,17 | 4,87 |
| Átlag | 0,9910 | 4,18 | 9,75 |
| Szórás | 0,0112 | 2,44 | 5,35 |

Valamely eredő zúzottkő-adalékanyag keveréket három, egy-egy *0/5*, *5/12* és *12/20* mm névleges szemnagysághatárú frakcióból terveztük összeállítani. A frakciók kombinálásával a lehető legkülönfélébb változatok előállítására törekedve 22 különböző keveréket terveztünk meg. Ezek jellemzőit a *6. táblázatban* foglaltuk össze. Az 5., 9., 13., 18., 27., 34., 39., 42. frakciók alkalmazása nem vezetett figyelemre méltó eredményre, így azok a *6. táblázatban* nem jutottak szerephez. Megjegyezzük, hogy a *6. táblázat* összeállításakor nem voltunk arra tekintettel, hogy az előírások szerint az aszfalt és beton keverékeket a teherbírástól és az igénybevételtől függően meghatározott termékosztályú zúzottkőből kell előállítani. Így tanulmányunkban a frakciók termékosztályától függetlenül valamennyi *6. táblázatbeli* zúzottkő-adalékanyag keverék aszfalt és beton készítési alkalmasságát megvizsgáltuk.

Az alkalmassági vizsgálat során aszfalt és beton fajtánként minden zúzottkő-adalékanyag keverékre (összesen $6 \times 22 = 132$ feladat megoldás) azokat a frakció tömegarányokat kerestük, amelyek mellett a keverékek szemmegoszlása a legkisebb hibával követi az aszfaltok és betonok középértékkel kép-

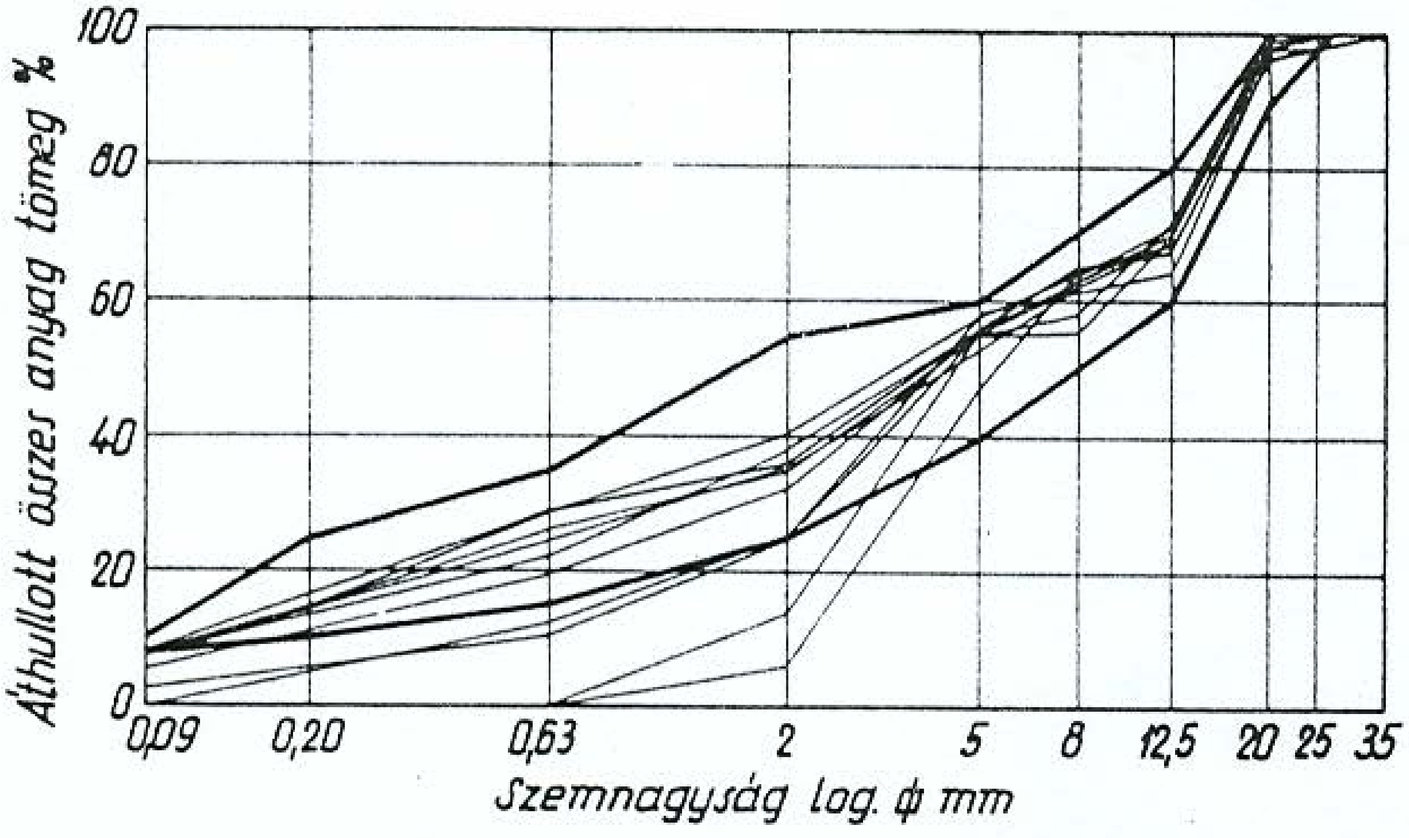



*1. ábra. V A-20 vízáteresztő aszfalt keverékek szemmegoszlási görbéi*

viselt szemmegoszlási követelményét. Ezt a feltételt a legkisebb hibanégyzetösszegek módszere szerint az

$$F = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \alpha \cdot y_{1i} - \beta \cdot y_{2i} - \gamma \cdot y_{3i}) = \min.$$

függvény jeleníti meg, ahol $i$ a megadott szemmegoszlási értékek sorszáma, $y_i$ az aszfalt, illetve a beton $i$-edik szemmegoszlási követelményének középértéke, $y_{1i}$ a *0/5* mm, $y_{2i}$ az *5/12* mm, $y_{3i}$ a *12/20* mm szemnagyságú frakció i-edik szemmegoszlási értéke, $\alpha$ a *0/5* mm, $\beta$ az *5/12* mm, $\gamma$ a *12/20* mm szemnagyságú frakció keresett tömegaránya, továbbá $\alpha + \beta + \gamma = 1$.




*2. ábra. AB-20 aszfaltbeton keverékek szemmegoszlási görbéi*

Az $F$ háromváltozós függvényben foglalt feltétel azon $\alpha$, $\beta$ és $\gamma$ tömegarányok esetén teljesül, amelyekre nézve a parciális deriváltfüggvények zérus értéket vesznek fel, azaz

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \qquad \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0 \qquad \frac{\partial F}{\partial \gamma} = 0$$

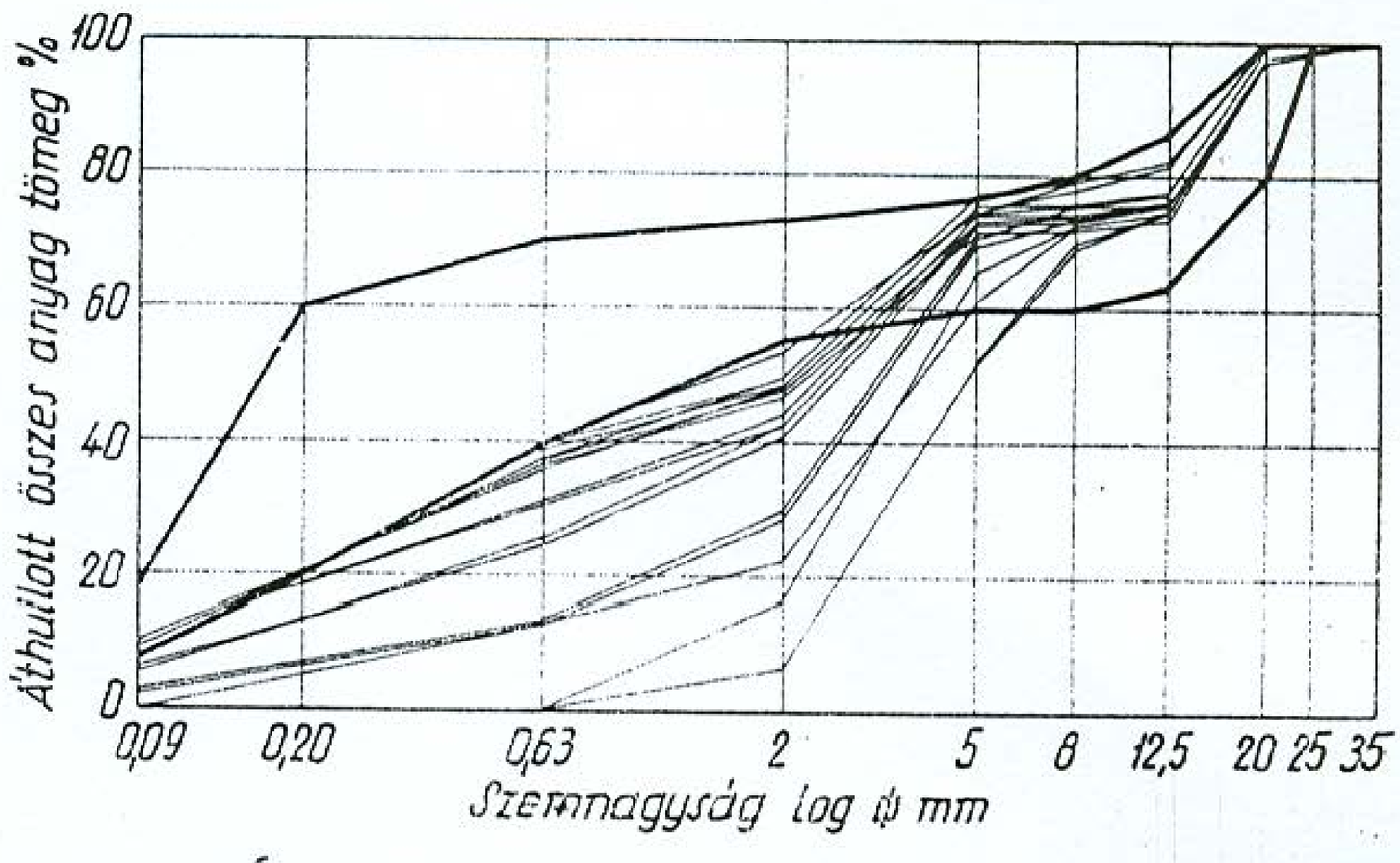
E háromismeretlenes elsőfokú egyenletrendszerből az $\alpha$, $\beta$ és $\gamma$ tömegarányok kiszámíthatók. A számításokat *HP-65* típusú mágneskártyás programozható zsebszámítógéppel végeztük el. A számítások eredményét példaképpen az útbeton keverékekre mutatjuk be a *7. táblázatban.*

A keverékek frakcióinak $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ tömegaránya ismeretében aszfalt és beton fajtánként minden zúzottkő-adalékanyag keverékre a tömegarány szerint vett frakció szemmegoszlási értékek összegeként kiszámítottuk az $y_{ri}$ eredő szemmegoszlási értékeket:

$$y_{ri} = \alpha \cdot y_{1i} + \beta . \; y_{2i} + \gamma \cdot y_{3i}$$

Példaképpen az útbeton keverékek zúzottkő-adalékanyagának $y_{ri}$ szemmegoszlási értékei találhatók a *8. táblázatban.* Az $y_{ri}$ szemmegoszlási értékek segítségével az *1—6. ábrán* megrajzoltuk az aszfalt és beton zúzottkő-adalékanyagok számításaink szerint lehetséges szemmegoszlási görbéit. Az ábrákon a követelmény határgörbéket vastagon húztuk ki.

Az aszfalt és beton keverékek *1—6. ábrabeli* szem-

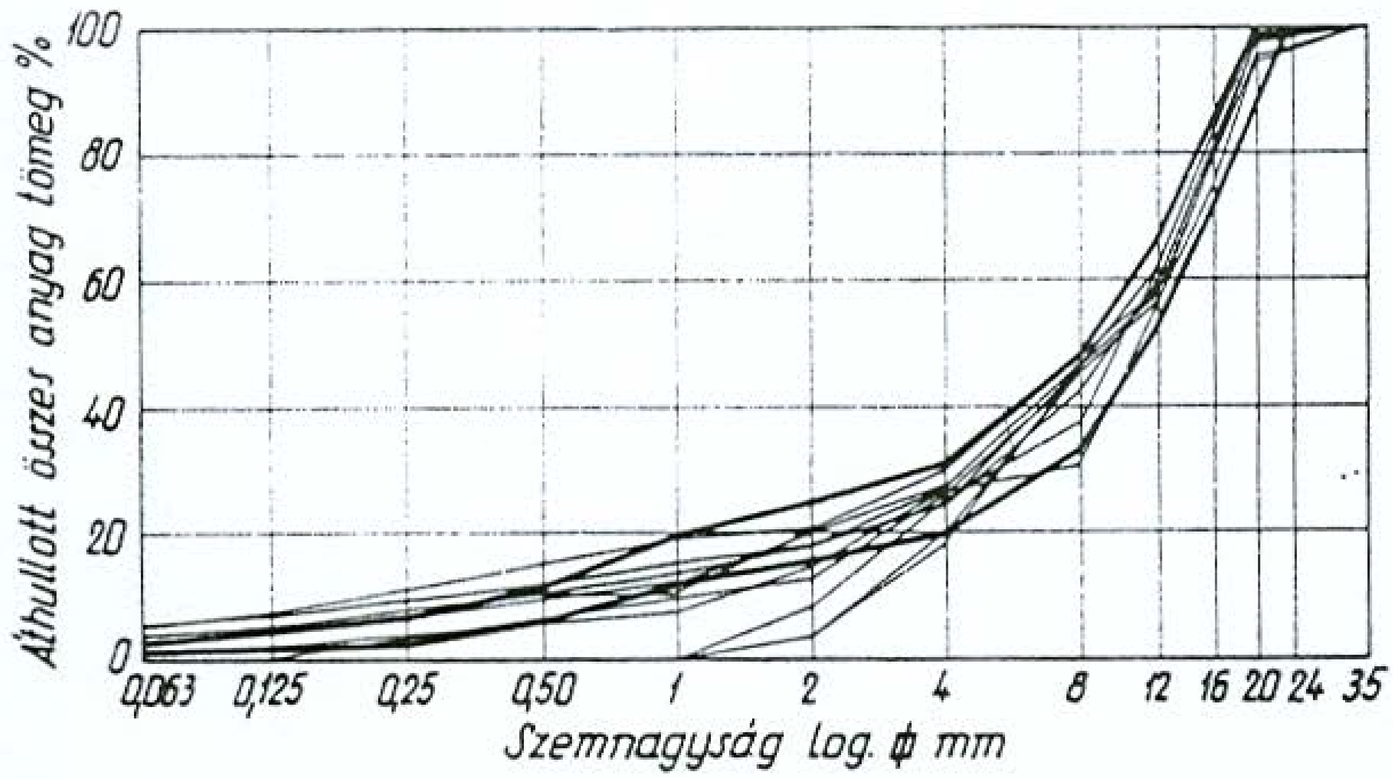



*3. ábra. ÉHA-20 érdesített homokaszfalt keverékek szemmegoszlási görbéi*

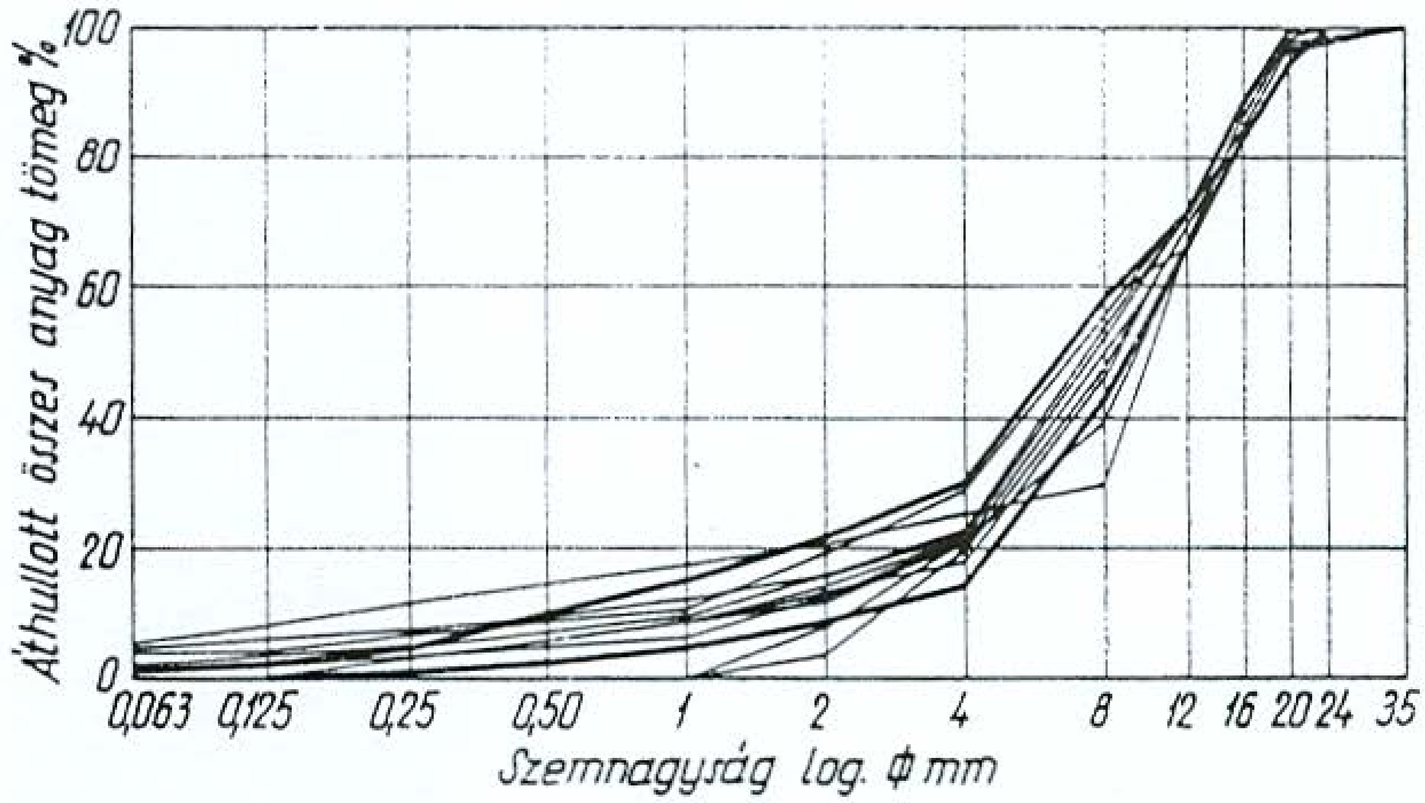
megoszlási görbéi a követelmények középgörbéire nézve regressziós függvények. A regresszió hatékonyságát kétféleképpen vizsgálhatjuk. Egyrészt az *1—6. ábrákon* megvizsgálhatjuk, hogy a keverék szemmegoszlási görbéje milyen helyzetet foglal el a követelményt adó határgörbék között, vagy azokon kívül. A *8. táblázat* példájában az összehasonlítást az utolsó oszlopban megadott követelmény határértékekkel számszerűen is elvégezhetjük. Másrészt kiszámíthatjuk a keverék szemmegoszlás és a követelmény középérték közötti regresszió szorosságát kifejező *I* korrelációs indexet, *S* standard hibát és *H* relatív hibát. Ezek aszfalt és beton keverékenkénti legnagyobb, legkisebb, átlag és torzítatlan szórás értékét a *9. táblázatban* adtuk meg.

## Következtetések

A zúzottkő frakciók szemmegoszlásának ingadozása a különböző aszfalt- és betonkeverékekre különböző hatással van. Az aszfaltok érzékenyebbek a frakciók szemmegoszlásának ingadozására, mint a betonok. Ez más fogalmazásban azt jelenti, hogy a termékszabvány követelménytől eltérő frakciókkal könnyebb megfelelő beton keveréket, mint megfelelő aszfalt keveréket készíteni. Az aszfaltokon és betonokon belül a durva szemmegoszlású keverékek kevésbé, a finom szemmegoszlású keverékek fokozottabban érzékenyek a frakció ingadozásokra. Más szóval a termékszabványtól eltérő frakciókkal durva



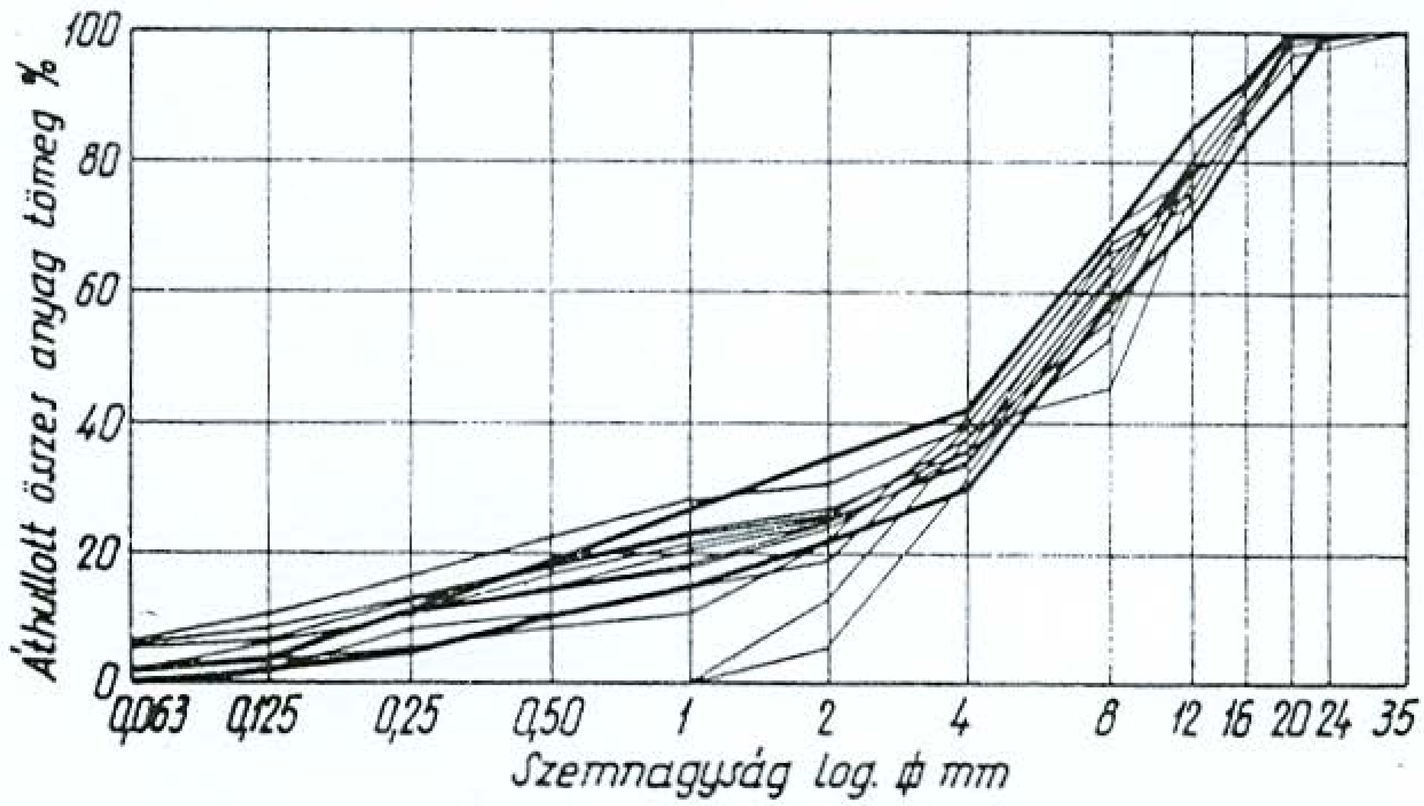

*4. ábra. Útbeton keverékek zúzottkő-adalékanyagának szemmegoszlási görbéi*




*5. ábra. I. osztályú szerkezeti beton keverékek zúzottkő-adalékanyagának szemmegoszlási görbéi*

szemmegoszlású aszfaltot vagy betont jobban lehet készíteni mint finom szemmegoszlásút. A különféle aszfaltok és betonok között a frakciók szemmegoszlásának a zúzottkő szabvány előírása körüli ingadozására, illetve eltérésére való érzékenysége szerint a következő sorrend állítható fel:

| | |
|---|---|
| Legérzékenyebb: | ÉHA-20 érdesített homokaszfalt |
| | AB-20 aszfaltbeton |
| | II. osztályú szerkezeti beton |
| | Útbeton |
| | VA-20 vízáteresztő aszfalt |
| Legkevésbé érzékeny: | I. osztályú szerkezeti beton |




*6. ábra. II. osztályú szerkezeti beton keverékek zúzottkő-adalékanyagának szemmegoszlási görbéi*

Az aszfalt- és betonkeverékek szemmegoszlási követelményét a finomszemek tartományában a legnehezebb betartani. Az aszfaltokba a szükségesnél általában kevesebb finom zúzottkő szem kerül, és ez leghatározottabban a finom szemmegoszlású ÉHA-20 érdesített homokaszfaltnál jelentkezik még akkor is, ha a frakciók éppen magas finomszem tartalmuknál fogva szabványon kívüli termékek. A jelenség magyarázata az aszfaltok magas finomszem igényében áll. A betonok a szükségesnél általában több finomszemet tartalmaznak függetlenül a beton típusától, illetve a megkövetelt szemmegoszlás finomságától.

Általában — kevés kivételtől eltekintve — három frakció keverékével függetlenül a zúzottkő termékosztályától és szemmegoszlási görbéje futásától elfogadható módon előállíthatók az aszfalt és beton adalékanyagok.

Megállapítható, hogy az optimálisan szabványos frakciókból csak az I. osztályú szerkezeti beton keve-

rékek esetén lehet végig a határgörbék között futó szemmegoszlás görbét előállítani (lásd 10. keverék). Vannak olyan kevéssé szabványos és szabványon kívüli frakciók, amelyek keveréke az optimálisan szabványos frakciók keverékénél jobban megközelítik az aszfalt és beton szemmegoszlási követelményét (lásd pl. 3., 4., 8., 11., 13., 16. keverékek).

Az aszfalt és beton adalékanyagok szemmegoszlási követelményének biztosításához elengedhetetlenül szükséges a frakciók tényleges szemmegoszlásának mindenkori ismeretében a frakciók tömegarányának rendszeres, szabatos megtervezése, például a cikkben bemutatott módszerrel. A rendszeres tervezéssel a frakciók szemmegoszlása óhatatlan ingadozásának káros hatását meg lehet előzni, ugyanakkor elmulasztása a keverék összeállítását esetlegessé, és nagy valószínűséggel hibássá teszi. A hiba akár 50%-os frakció tömegarány tévedés is lehet. Módszerünk alkalmazásával a mai kőbányaipari technológia mellett előforduló szemmegoszlási ingadozások általában nem képezik akadályát az aszfaltok és betonok határgörbék között futó szemmegoszlása előállításának.

A határgörbék közötti aszfalt és beton adalékanyagok előállítására vonatkozó magasabbrendű felhasználói követelmények az 5 mm feletti tartományban nem indokolják a szűk frakciók számának növelését. A 0/5 mm szemnagyságú anyag például 2 mm-nél való kettébontása elméletileg elősegítené az aszfaltok és betonok szemmegoszlási követelményének követhetőségét.

Attól, hogy a kőbányaipar a jelenleg használatos frakcióhatárok helyett esetleg a 4, 8, 16, 24, 32 mm-es frakcióhatárokat alkalmazná — bár az üdvözlendő egységesítési törekvés —, az aszfalt és beton adalékanyagok szemmegoszlási előírásának betartása szempontjából különösebb eredmény nem várható, mert annak hatása az 5 mm alatti szemekre nézve csekély.

IRODALOM

[1] *Fekete L.*: Előírt minőségű zúzottkő termékek előállításának néhány kérdése. Kő- és Kavicsipari Szakmai tájékoztató. 1982. 2. szám. 35–45. p.
[2] A kőbányák termékeinek minőségéről. Közlekedéstudományi Intézet 46–49. számú vizsgálati jelentései. Budapest, 1982.
[3] *Bodnár G.–Puskásné Hőgyes I.–Kausay T.*: A szemeloszlásjellemzők grafoanalitikus számításmódja. Építőanyag. 31. évf. 1979. 8. szám. 291–297 p.

*Kausay Tibor:* **Zúzottkő termékek szemmegoszlása a felhasználói igények szempontjából**

A zúzottkő termékek és a belőlük előállított aszfalt és beton adalékanyag keverékek szemmegoszlása szigorú követelményeknek kell megfeleljen. Az adalékanyag keverékek szemmegoszlása a zúzottkő termékek szemmegoszlásától és a termékek keverési arányától függ. Tanulmányunkban 43-féle különböző szemmegoszlású zúzottkő termék hármas kombinációjaként – regresszió számítással – előállított 132 adalékanyag keverék szemmegoszlásának és a szemmegoszlás követelményének összehasonlításával a követelmény kielégítésének lehetőségét vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a zúzottkő termékek szemmegoszlásának ingadozása a különböző aszfalt és beton keverékekre különböző hatással van, de a termékek tömegarányának szabatos és rendszeres megtervezésével az esetek többségében előállíthatók a követelményeknek megfelelő aszfalt és beton adalékanyagok.

**Készült az**

Állami Közúti Műszaki és Információs Közhasznú Társaság megbízásából.

**Kidolgozta**

Dr. Kausay Tibor (Betonopus Bt., Tel: 217-4165) vezetésével a Magyar Útügyi Társaság munkabizottsága.

Az Állami Közúti Műszaki és Információs Közhasznú Társaság szakmai konzulense Tóth János (ÁKMI Kht.,tel: 2020-811).

A szakmai tartalommal kapcsolatos mindennemű felvilágosítás
a fenti telefonszámokon kérhető.

---

Terjeszti a Magyar Útügyi Társaság.
A kiadással és mindennemű másolással kapcsolatban
minden jog fenntartva.

# 2. MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEK ÉS OSZTÁLYBA SOROLÁS

## 2.1 Kőzetfizikai követelmények

### *2.1.1 Általános kőzetfizikai követelmények*

Az útépítési zúzott kőanyagok kőzetfizikai tulajdonságait általában a Los Angeles aprózódás, a Deval aprózódás, a mikro-Deval aprózódás, a szulfátos kristályosítási aprózódás írja le. Az általános kőzetfizikai követelményeket az *1. táblázat* tartalmazza.

*Az útépítési zúzott kőanyagok általános kőzetfizikai követelményei* *1. táblázat*

| A vizsgálati halmaz szem-nagyság határai mm | Kőzetfizikai vizsgálati jellemzők megnevezése, vizsgálati módszere (MSZ száma), eljárása és vizsgálati szemnagysága | | Általános kőzetfizikai csoport | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | AA | BB | CC | DD |
| | | | besorolási határértékek tömegszázalékban | | | |
| | | | -ig | felett -ig | felett -ig | felett -ig |
| 3 - 80 | Los-Angelesi aprózódás, MSZ 18287-1 | | 20 | 20 - 25 | 25 - 35 | 35 - 45 |
| 12 - 55 | Deval aprózódás, vizes eljárás, MSZ 18287/2 | 20-55 mm<br>12-20 mm | 8,5<br>5,7 | 8,5 - 11,2<br>5,7 - 7,7 | 11,2 - 15,9<br>7,7 – 11,0 | 15,9 - 30,3<br>11,0 - 23,7 |
| 3 - 12 | Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, MSZ 18287/6 | | 15 | 15 - 20 | 20 - 25 | 25 - 30 |
| 2 - 80 | Szulfátos kristályosítási aprózódás, $MgSO_4$ oldatban, MSZ 18289/3 | | 10 | 10 - 15 | 15 - 20 | 20 - 30 |

# Zúzottkövek aprózódás vizsgálati módszereinek összefoglalása

| VIZSGÁLATOK | Táblázatok | KÖVETELMÉNYEK |
|---|---|---|
| Los Angeles MSZ 18287-1 | Ha az alábbi négyzetek valamelyikére kattint, akkor az abba beírt első táblázat közvetlenül elérhető, és onnan a többire is lapozhat. | Zúzottkő MSZ 18291 |
| Los Angeles MSZ EN 1097-2 | | Útépítési zúzott kőanyagok ÚT 2-3.601 |
| Deval MSZ 18287-2 | 1.-4. táblázat | Beton pályaburkolatok ÚT 2-3.201 |
| Mikro-Deval MSZ 18287-6 | 5.-7. táblázat | |
| Mikro-Deval MSZ EN 1097-1 | 8.-11. táblázat | Betonok és betonutak zúzottkövei prEN 12620 |
| Los Angeles ASTM C 131 | 12.-13. táblázat | Útépítési aszfaltok ÚT 2-3.301 ÚT 2-3.304 ÚT 2-3.309 ÚT 2-3.310 |
| Los Angeles ASTM C 535 | 14.-16. táblázat | |
| Los Angeles EIB-MÁV Rt ERRI D 182/RP 4 | 17. táblázat | Útépítési aszfaltok CEN/TC 154/SC 3 |
| Skandináv MSZ EN 1097-9 | A fényképek innen érhetők el. | Vasúti ágyazati zúzottkő EIB-MÁV Rt ERRI D 182/RP 4 |

# ZÚZOTTKÖVEK APRÓZÓDÁS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI
## (Próbahalmazok forgódobos szilárdság vizsgálati módszerei)
## I. RÉSZ

## Zúzottkövek
## MSZ és *azonos megnevezésű* MSZ EN szabványok szerinti aprózódás vizsgálati módszereinek összefoglalása

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgáló berendezés dobjának (dobjainak) és acélgolyóinak jellemzői** | | | | | |
| Forgódob anyaga, min. | 12 mm vastag acéllemez | 11,5-13,0 mm vastag acéllemez | 12 mm vastag öntöttvas | 3 ± 0,2 mm vastag acéllemez | 3 mm vastag acéllemez |
| Belső átmérő, mm | 711 | 711 ± 5 | 200 | 200 ± 1 | 200 ± 1 |
| Belső hosszúság, mm | 508 | 508 ± 5 | 340 | 154 ± 1 | 154 ± 1 |
| Acélpárkányok száma, darab | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Acélpárkány magassága, mm | 89 | 90 ± 2 (vast.: 25 ± 1) | Nincs | Nincs | Nincs |
| A geometriai tengelynek a vízszintes forgástengellyel bezárt szöge, fok | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 |
| Acélgolyók átmérője, mm | 47 ± 5 | 45 - 49 | Acélgolyó nem kerül alkalmazásra | 9,5 - 10,1 | 10 ± 0,5 |
| Acélgolyók egyenkénti tömege, g | 390 - 445 | 400 - 445 | Acélgolyó nem kerül alkalmazásra | Nincs előírva | Nincs előírva |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati minta és acélgolyók mennyisége** | | | | | | | |
| Vizsgálati minta tömege, kiszárított állapotban, g | 5000 ± 5<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>3-5 5-8<br>5-12 8-12 | | 5000 ± 5<br>Ezt „vizsgálati adag”-nak nevezik | 5000 ± 5<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>12-20 | 500 ± 2 | | 500 ± 2<br>Ezt „vizsgálati adag”-nak nevezik |
| | 5000 ± 10<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>8-20 12-20 8-35 | | | 5000 ± 10<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>20-35<br>35-55 | | | |
| | 10000 ± 20<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>20-35 25-50<br>35-50 | | | | | | |
| | 10000 ± 25<br>ha a szem-nagyság, mm:<br>35-70 50-80 | | | | | | |
| Szemnagyság, mm<br>Acélgolyók száma dobonként, db<br>Acélgolyók összes tömege dobonként, g | 3-5 | 6 | 10-14<br>Követelmény továbbá, hogy<br>- a 11,2 mm-es szitán 30-40 m%,<br>- vagy a 12,5 mm-es szitán 60-70 m% essék át<br>11 db<br>4690 - 4860<br>Alternatív vizsgálati mód: | 12-20<br>20-35<br>35-55<br><br>Acélgolyók nem kerülnek alkalmazásra | 2-4<br>3-5<br>4-8<br>5-8 | 500<br>1000<br>2500<br>3000 ± 5 | 10-14<br>Követelmény továbbá, hogy<br>- a 11,2 mm-es szitán 30-40 m%,<br>- vagy a 12,5 mm-es szitán 60-70 m% essék át<br><br>5000 ± 5 |
| | 5-8 | 7 | | | | | |
| | 5-12 | 8 | | | | | |
| | 8-12 | 9 | | | | | |
| | 8-20 | 11 | | | | | |
| | 12-20 | 11 | | | | | |
| | 8-35 | 12 | | | | | |
| | 20-35 | 12 | | | | | |
| | 25-50 | 12 | | | | | |
| | 35-50 | 12 | | | | | |
| | 35-70 | 12 | | | | | |
| | 50-80 | 12 | | | | | |
| | | | 4-8 8<br>6,2-10 9<br>8-11,2 10<br>11,2-16 12<br>ahol rendre:<br>3410-3540<br>3840-3980<br>4260-4420<br>5120-5300 | | 5-12 4000<br>8-12 4500<br>5-20 5000<br>8-16 5000<br>12-16 5500<br>12-20 6000<br>± 10 | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati módszer jellemzői** | | | | | |
| Vizes vizsgálat esetén az egyes dobokba öntendő víz térfogata, $cm^3$ | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | 2500 ± 10 | 2500 ± 10 | 2500 ± 50 |
| Percenkénti fordulatszám | 30 - 33 | 31 - 33 | 30 - 33 | 100 ± 10 | 100 ± 5 |
| Összes fordulatszám | 500 ha a szem-nagyság, mm: ≤ 20 | 500 | 15000 ha a szem-nagyság, mm: 12-20 | 12000 | 12000 ± 10 |
| | 500 ha a szem-nagyság, mm: 8-35 | | 15000 ha a szem-nagyság, mm: 20-35 | | |
| | 1000 ha a szem-nagyság, mm: ≥ 20 | | 10000 ha a szem-nagyság, mm: 35-55 | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati eredmény** | | | | | |
| Aprózódási veszteség, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, g | Az 1,6 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | | | | |
| Aprózódás, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, tömeg% | Los Angeles aprózódás, $a_{LA}$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában | Los Angeles érték vagy tényező, $LA$ = Egy vizsgálati adagnak a vizsgálata végeztével az 1,6 mm-es szitán áthullott tömeghányada<br><br>[Fogalmi eltérés az MSZ 18287-1 szabványhoz képest nincs, csak a jelölés más] | Deval aprózódás, $a_D$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában<br><br>A jelölés száraz vizsgálat esetén: $a_{Do}$ és vizes vizsgálat esetén: $a_{Dw}$ | Mikro-Deval aprózódás, $a_{MD}$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában<br><br>A jelölés száraz vizsgálat esetén: $a_{MDo}$ és vizes vizsgálat esetén: $a_{MDw}$ | Mikro-Deval aprózódás (vizes vizsgálat), $M_{DE}$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati adag tömegének százalékában<br><br>A jelölés száraz vizsgálat esetén: $M_{DS}$ |
| Szilárdság, mértékegység nélküli szám | Los Angeles szilárdság, $LA$ = $=L/a_{LA}$<br>ahol az $L$ számítási állandó értéke: 90 / 100 / 105 / 120 / 125<br>ha a szemnagyság, mm: 3-5 / 5-8 / 5-12 / 8-20 / 8-80 | Nincs ilyen fogalom | Deval szilárdság (érték), $D$ = $=40/a_D$ ahol 40 az ú.n. tapasztalati állandó | Nincs ilyen fogalom | Nincs ilyen fogalom |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (1)** | | | | | |
| MSZ 18291:1978 „Zúzottkő" (Nemzeti szabvány) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény [tömeg%] | | Követelmény [tömeg%] | | |
| A | $a_{LA} \leq 20$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $a_{Do} \leq 1,6$ $a_{Dw} \leq 5,0$ | | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $a_{Do} \leq 3,3$ $a_{Dw} \leq 6,7$ | | |
| B | $20 < a_{LA} \leq 25$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $1,6 < a_{Do} \leq 2,0$ $5,0 < a_{Dw} \leq 7,5$ | | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $3,3 < a_{Do} \leq 4,5$ $6,7 < a_{Dw} \leq 9,0$ | | |
| C | $25 < a_{LA} \leq 35$ | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $4,5 < a_{Do} \leq 6,8$ $9 < a_{Dw} \leq 13$ | | |
| D | $35 < a_{LA} \leq 45$ | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $6,8 < a_{Do} \leq 13,3$ $13 < a_{Dw} \leq 27$ | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 illetve prEN 1097-1:1993 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (2)** | | | | | |
| ÚT 2-3.601:1998 „Útépítési zúzott kőanyagok" (Útügyi műszaki előírás) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény [tömeg%] | | Követelmény [tömeg%] | Követelmény [tömeg%] | |
| AA | $a_{LA} \leq 20$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $a_{Dw} \leq 5,7$ | 3-12 mm szemnagyság esetén: $a_{MDw} \leq 15$ | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $a_{Dw} \leq 8,5$ | | |
| BB | $20 < a_{LA} \leq 25$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $5,7 < a_{Dw} \leq 7,7$ | 3-12 mm szemnagyság esetén: $15 < a_{MDw} \leq 20$ | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $8,5 < a_{Dw} \leq 11,2$ | | |
| CC | $25 < a_{LA} \leq 35$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $7,7 < a_{Dw} \leq 11$ | 3-12 mm szemnagyság esetén: $20 < a_{MDw} \leq 25$ | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $11,2 < a_{Dw} \leq 15,9$ | | |
| DD | $35 < a_{LA} \leq 45$ | | 12-20 mm szemnagyság esetén: $11 < a_{Dw} \leq 23,7$ | 3-12 mm szemnagyság esetén: $25 < a_{MDw} \leq 30$ | |
| | | | 20-55 mm szemnagyság esetén: $15,9 < a_{Dw} \leq 30,3$ | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 illetve prEN 1097-2:1994 | Deval MSZ 18287-2:1983 | Mikro-Deval MSZ 18287-6:1984 | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1:1998 illetve prEN 1097-1:1993 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (3)** | | | | | |
| ÚT 2-3.201:2000 „Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények” (Útügyi műszaki előírás) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény | | Követelmény | Követelmény | |
| AA<br>BB<br>CC | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | |
| prEN 12620:1996 „Gesteinskörnungen für Beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten” (Betonokra és betonutakra vonatkozó európai szabvány tervezet) | | | | | |
| Kategória | | Követelmény [tömeg%] | | | Követelmény nincs, de szükség esetén a *mikro-Deval* vizsgálat a csiszolódási vagy a *Skandináv* vizsgálat alternatívájaként elvégezhető. |
| $LA_A$<br>$LA_B$<br>$LA_C$<br>$LA_D$ | | $LA \leq 20$<br>$20 < LA \leq 30$<br>$30 < LA \leq 40$<br>$LA > 40$ | | | |
| ÚT 2-3.301:1997 „Útépítési aszfaltkeverékek és útpályaszerkezeti aszfaltrétegek”<br>ÚT 2-3.304:1989 „Higított bitumenes aszfaltmakadám pályaszerkezeti rétegek”<br>ÚT 2-3.306:1993 „Útburkolatok felületi bevonata”<br>ÚT 2-3.309:1986 „Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alapok és burkolatok. Kationaktív bitumenemulziós aszfaltkeverékek kátyúzási célra”<br>ÚT 2-3.310:1991 „Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alapok és burkolatok. A pályaszerkezeti rétegekhez készített keverékek megnevezése, tervezése és minőségi követelményei” (Útügyi műszaki előírások) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény | | Követelmény | Követelmény | |
| AA<br>BB<br>CC<br>DD | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | |
| CEN/TC 154/SC 3 „Europäischer Normentwurf für Mineralstoffe für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen (1995.)” (Aszfaltokra és felületi bevonatokra vonatkozó európai szabvány tervezet) | | | | | |
| Kategória | | Követelmény [tömeg%] | | | Követelmény [tömeg%] |
| *A*<br>*B*<br>*C*<br>*D*<br>*E*<br>*F*<br>*G* | | $LAV \leq 15$<br>$15 < LAV \leq 20$<br>$20 < LAV \leq 25$<br>$25 < LAV \leq 30$<br>$30 < LAV \leq 40$<br>$40 < LAV \leq 50$<br>$LAV > 50$ | | | $M_{DE} \leq 10$<br>$10 < M_{DE} \leq 15$<br>$15 < M_{DE} \leq 20$<br>$20 < M_{DE} \leq 25$<br>$25 < M_{DE} \leq 35$<br>$M_{DE} > 35$ |

# ZÚZOTTKÖVEK APRÓZÓDÁS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI
## (Próbahalmazok forgódobos szilárdság vizsgálati módszerei)
## II. RÉSZ

## Zúzottkövek
## Los Angeles aprózódás vizsgálati módszereinek összefoglalása

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MÁV Rt (1998.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgáló berendezés dobjának (dobjainak) és acélgolyóinak jellemzői** | | | | | |
| Forgódob anyaga, min. | 12 mm vastag acéllemez | 11,5-13,0 mm vastag acéllemez | 12,5 mm vastag acéllemez | 12,5 mm vastag acéllemez | MSZ 18287-1 szerint |
| Belső átmérő, mm | 711 | 711 ± 5 | 711 ± 5 | 711 ± 5 | MSZ 18287-1 szerint |
| Belső hosszúság, mm | 508 | 508 ± 5 | 508 ± 5 | 508 ± 5 | MSZ 18287-1 szerint |
| Acélpárkányok száma, darab | 1 | 1 | 1 | 1 | MSZ 18287-1 szerint |
| Acélpárkány magassága, mm | 89 | 90 ± 2 (vast.: 25 ± 1) | 89 ± 2 (vast.: 25) | 89 ± 2 (vast.: 25) | MSZ 18287-1 szerint |
| A geometriai tengelynek a vízszintes forgástengellyel bezárt szöge, fok | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acélgolyók átmérője, mm | 47 ± 5 | 45 - 49 | 46,0 - 47,6 | 46,0 - 47,6 | MSZ 18287-1 szerint |
| Acélgolyók egyenkénti tömege, g | 390 - 445 | 400 - 445 | 390 - 445 | 390 - 445 | MSZ 18287-1 szerint |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MÁV Rt (1998.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati minta és acélgolyók mennyisége** | | | | | |
| Vizsgálati minta tömege, kiszárított állapotban, g | 5000 ± 5 ha a szemnagyság, mm: 3-5 5-8 5-12 8-12<br>5000 ± 10 ha a szemnagyság, mm: 8-20 12-20 8-35<br>10000 ± 20 ha a szemnagyság, mm: 20-35 25-50 35-50<br>10000 ± 25 ha a szemnagyság, mm: 35-70 50-80 | 5000 ± 5<br>Ezt „vizsgálati adag”-nak nevezik | 5000 ± 10 | 10000 ± 50 ha a szemnagyság, mm: 19-37,5<br>10000 ± 75 ha a szemnagyság, mm: 25-50<br>10000 ± 100 ha a szemnagyság, mm: 37,5-75 | 10000 ± 100<br>*Megjegyzés: Az EIB-MÁV Rt (1998.) vasúti ágyazati minőségi előírása az ERRI D 182/RP 4 (Utrecht, 1994.) ajánlásán alapszik, amely az eltérések kivételével az ASTM C 535-1989 szabványra hivatkozik.* |
| Szemnagyság, mm<br>Acélgolyók száma dobonként, db<br>Acélgolyók összes tömege dobonként, g | 3-5 6<br>5-8 7<br>5-12 8<br>8-12 9<br>8-20 11<br>12-20 11<br>8-35 12<br>20-35 12<br>25-50 12<br>35-50 12<br>35-70 12<br>50-80 12 | 10-14<br>Követelmény továbbá, hogy<br>- a 11,2 mm-es szitán 30-40 m%,<br>- vagy a 12,5 mm-es szitán 60-70 m% essék át<br>11 db<br>4690 - 4860<br>Alternatív vizsgálati mód:<br>4-8 8<br>6,2-10 9<br>8-11,2 10<br>11,2-16 12<br>ahol rendre:<br>3410-3540<br>3840-3980<br>4260-4420<br>5120-5300 | 2,36-4,75<br>4,75-9,5<br>és az összetétel:<br>50% 4,75-6,3 mm<br>50% 6,3-9,5 mm<br>9,5-19,0<br>és az összetétel:<br>50% 9,5-12,5 mm<br>50% 12,5-19 mm<br>9,5-38,1<br>és az összetétel:<br>25% 9,5-12,5 mm<br>25% 12,5-19 mm<br>25% 19-25 mm<br>25% 25-38,1 mm<br>2,36-4,75 6<br>4,75-9,50 8<br>9,5-19,0 11<br>9,5-38,1 12<br>ahol rendre:<br>2500 ± 15<br>3330 ± 20<br>4584 ± 25<br>5000 ± 25 | 19,0-37,5<br>és a minta összetétele:<br>50% 19-25 mm<br>50% 25-37,5 mm<br>25-50<br>és a minta összetétele:<br>50% 25-37,5 mm<br>50% 37,5-50 mm<br>37,5-75,0<br>és a minta összetétele:<br>50% 37,5-50 mm<br>25% 50-63 mm<br>25% 63-75 mm<br>12 db<br>5000 ± 25 | 31,5-50<br>Követelmény továbbá, hogy a vizsgálati anyag összetétele:<br>31,5-40 mm szemnagyság: 5000 g ± 50 g<br>és<br>40-50 mm szemnagyság: 5000 g ± 50 g<br>Az acélgolyók száma nincs előírva, de az MSZ 18287-1 és az ASTM C 535 szerint: 12 db |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MÁV Rt (1998.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati módszer jellemzői** | | | | | |
| Vizes vizsgálat esetén az egyes dobokba öntendő víz térfogata, $cm^3$ | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz |
| Percenkénti fordulatszám | 30 - 33 | 31 - 33 | 30 - 33 | 30 - 33 | MSZ 18287-1 szerint |
| Összes fordulatszám | 500<br>ha a szemnagyság, mm:<br>≤ 20 | 500 | 500 | 1000 | 1000<br><br>*Megjegyzés, a betűjelek magyarázata:*<br><br>*EIB = European Investment Bank*<br><br>*ERRI = European Rail Research Institute* |
| | 500<br>ha a szemnagyság, mm:<br>8-35 | | | | |
| | 1000<br>ha a szemnagyság, mm:<br>≥ 20 | | | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MAV Rt (1998.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati eredmény** | | | | | |
| Aprózódási veszteség, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, g | Az 1,6 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | Az 1,6 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | Az 1,7 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | Az 1,7 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | Az 1,6 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege |
| Aprózódás, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, tömeg% | Los Angeles aprózódás, $a_{LA}$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában | Los Angeles érték vagy tényező, *LA* = Egy vizsgálati adagnak a vizsgálata végeztével az 1,6 mm-es szitán áthullott tömeghányada [Fogalmi eltérés az MSZ 18287-1 szabványhoz képest nincs, csak a jelölés más] | Los Angeles érték vagy tényező, *LA* = Az 1,7 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában | Los Angeles érték vagy tényező, *LA* = Az 1,7 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában | Los Angeles aprózódás értéke, *LA* = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában [Fogalmi eltérés az MSZ 18287-1 szabványhoz képest nincs, csak a jelölés más] |
| Szilárdság, mértékegység nélküli szám | Los Angeles szilárdság, *LA* = $=L/a_{LA}$ | Nincs ilyen fogalom | Nincs ilyen fogalom | Nincs ilyen fogalom | Nincs ilyen fogalom |

| ahol az *L* számítási állandó értéke: | ha a szemnagyság, mm: |
|---|---|
| 90 | 3-5 |
| 100 | 5-8 |
| 105 | 5-12 |
| 120 | 8-20 |
| 125 | 8-80 |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 illetve prEN 1097-2:1994 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MÁV Rt (1998.) illetve ERRI D 182/RP 4 (1994.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (4)** | | | | | |
| MSZ 18291:1978 „Zúzottkő" (Nemzeti szabvány) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény [tömeg%] | | | | |
| A | $a_{LA} \leq 20$ | | | | |
| B | $20 < a_{LA} \leq 25$ | | | | |
| C | $25 < a_{LA} \leq 35$ | | | | |
| D | $35 < a_{LA} \leq 45$ | | | | |
| ÚT 2-3.601:1998 „Útépítési zúzott kőanyagok" (Útügyi műszaki előírás) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény [tömeg%] | | | | |
| AA | $a_{LA} \leq 20$ | | | | |
| BB | $20 < a_{LA} \leq 25$ | | | | |
| CC | $25 < a_{LA} \leq 35$ | | | | |
| DD | $35 < a_{LA} \leq 45$ | | | | |
| ÚT 2-3.201:2000 „Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények" (Útügyi műszaki előírás) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény | | | | |
| AA<br>BB<br>CC | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | | | | |
| prEN 12620:1996 „Gesteinskörnungen für Beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten" (Betonokra és betonutakra vonatkozó európai szabvány tervezet) | | | | | |
| Kategória | | Követelmény [tömeg%] | | | |
| $LA_A$ | | $LA \leq 20$ | | | |
| $LA_B$ | | $20 < LA \leq 30$ | | | |
| $LA_C$ | | $30 < LA \leq 40$ | | | |
| $LA_D$ | | $LA > 40$ | | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ 18287-1:1991 | Los Angeles MSZ EN 1097-2:2000 illetve prEN 1097-2:1994 | Los Angeles ASTM C 131-1976 | Los Angeles ASTM C 535-1996 | Los Angeles EIB-MÁV Rt (1998.) illetve ERRI D 182/RP 4 (1994.) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (5)** | | | | | |
| ÚT 2-3.301:1997 „Útépítési aszfaltkeverékek és útpályaszerkezeti aszfaltrétegek” ÚT 2-3.304:1989 „Higított bitumenes aszfaltmakadám pályaszerkezeti rétegek” ÚT 2-3.306:1993 „Útburkolatok felületi bevonata” ÚT 2-3.309:1986 „Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alapok és burkolatok. Kationaktív bitumenemulziós aszfaltkeverékek kátyúzási célra” ÚT 2-3.310:1991 „Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alapok és burkolatok. A pályaszerkezeti rétegekhez készített keverékek megnevezése, tervezése és minőségi követelményei” (Útügyi műszaki előírások) | | | | | |
| Kőzetfizikai csoport: | Követelmény | | | | |
| AA<br>BB<br>CC<br>DD | Azonos az ÚT 2-3.601:1998 előírásban foglaltakkal | | | | |
| CEN/TC 154/SC 3 „Europäischer Normentwurf für Mineralstoffe für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen (1995.)” (Aszfaltokra és felületi bevonatokra vonatkozó európai szabvány tervezet) | | | | | |
| Kategória | | Követelmény [tömeg%] | | | |
| ***A***<br>***B***<br>***C***<br>***D***<br>***E***<br>***F***<br>***G*** | | ***LAV*** ≤ 15<br>15 < ***LAV*** ≤ 20<br>20 < ***LAV*** ≤ 25<br>25 < ***LAV*** ≤ 30<br>30 < ***LAV*** ≤ 40<br>40 < ***LAV*** ≤ 50<br>***LAV*** > 50 | | | |
| EIB-MÁV Rt (1998.) „Zúzottkő” (Vasúti felépítményi szakanyagok szállítása, projekt feltétel) | | | | | |
| Vasúti ágyazati zúzottkő, szemnagyság: 22,4 - 63 mm | *Az ***LA*** értékre vonatkozó követelmény azon vasúti fővonalakra érvényes, amelyeken a személyvonatok legnagyobb sebessége 200 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 200 kN, valamint a tehervonatok legnagyobb sebessége 100 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 225 kN. | | | | Követelmény* [tömeg%]<br>***LA*** ≤ 15 |
| ERRI D 182/RP 4 (Utrecht, 1994.) „Einheitliche technische Lieferbedingungen und Beschreibung des Qualitätsschicherungssystems für Bahnschotter” (Európai vasúti kutatóintézeti jelentés) | | | | | |
| Vasúti ágyazati zúzottkő, szemnagyság: 22,4 - 63 mm | *Az ***LA*** értékre vonatkozó ajánlás azon vasúti fővonalakra érvényes, amelyeken a személyvonatok legnagyobb sebessége 200 km/óra, tengelyterhelése legfeljebb 200 kN, és a tehervonatok legnagyobb sebessége 100 km/óra, tengelyterhelése legfeljebb 225 kN. | | | | Ajánlás* [tömeg%]<br>***LA*** ≤ 15 |

# ZÚZOTTKÖVEK APRÓZÓDÁS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI
## (Próbahalmazok forgódobos szilárdság vizsgálati módszerei)
## III. RÉSZ

## Zúzottkövek
## MSZ EN szabványok és európai dokumentumok szerinti aprózódás vizsgálati módszereinek összefoglalása

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ EN 1097-2 :2000 | Los Angeles ERRI D 182/RP 4 (1994.)* | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1 :1998 | Skandináv MSZ EN 1097-9 :2000 |
|---|---|---|---|---|
| **Vizsgáló berendezés dobjának (dobjainak) és acélgolyóinak jellemzői** | | | | |
| Forgódob anyaga, legalább | 11,5-13,0 mm vastag acéllemez | 12,5 mm vastag acéllemez | 3 mm vastag acéllemez | 6 mm falvastagságú, TS 5 minőségű (ISO 2604-2) varratmentes acélcső |
| Belső átmérő, mm | 711 ± 5 | 711 ± 5 | 200 ± 1 | 206,5 ±2 |
| Belső hosszúság, mm | 508 ± 5 | 508 ± 5 | 154 ± 1 | 335 ± 1 |
| Acélpárkányok (bordák) száma, darab | 1 | 1 | 0 | 3 (Bordáknak nevezik) |
| Acélpárkány (bordák) magassága, mm | 90 ± 2 (vast.: 25 ± 1) | 89 ± 2 (vast.: 25) | Nincs | 8 |
| A geometriai tengelynek a vízszintes forgástengellyel bezárt szöge, fok | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acélgolyók átmérője, mm | 45 - 49 | 46,0 - 47,6 | 10 ± 0,5 | 14,5 - 15,1 |
| Acélgolyók egyenkénti tömege, g | 400 - 445 | 390 - 445 | Nincs előírva | Nincs előírva |

**ERRI = European Rail Research Institute*

<table>
<tr><th>Vizsgálat</th><th>Los Angeles<br>MSZ EN 1097-2<br>:2000</th><th>Los Angeles<br>ERRI D<br>182/RP 4 (1994.)</th><th>Mikro-Deval<br>MSZ EN 1097-1<br>:1998</th><th>Skandináv<br>MSZ EN 1097-9<br>:2000</th></tr>
<tr><td colspan="5">Vizsgálati minta és acélgolyók mennyisége</td></tr>
<tr><td>Vizsgálati minta tömege, kiszárított állapotban, g</td><td>5000 ± 5<br>Ezt „vizsgálati adag”-nak nevezik</td><td>10000 ± 100</td><td>500 ± 2<br>Ezt „vizsgálati adag”-nak nevezik</td><td>$1000\frac{\rho_{testsűr.}^{[g/cm^3]}}{2,66} \pm 5$</td></tr>
<tr><td>Szemnagyság, mm<br><br>Acélgolyók száma dobonként, db<br><br>Acélgolyók összes tömege dobonként, g</td><td>10-14<br>Követelmény továbbá, hogy<br>- a 11,2 mm-es szitán 30-40 m%,<br>- vagy a 12,5 mm-es szitán 60-70 m% cssék át<br>Acélgolyók: 11 db<br>4690 - 4860 g<br>Alternatív vizsgálati mód:<br>4-8 — 8 db<br>6,2-10 — 9 db<br>8-11,2 — 10 db<br>11,2-16 — 12 db<br>ahol rendre:<br>3410-3540 g<br>3840-3980 g<br>4260-4420 g<br>5120-5300 g</td><td>31,5-50<br>Követelmény továbbá, hogy a vizsgálati anyag összetétele:<br>31,5-40 mm szemnagyság: 5000 g ± 50 g és<br>40-50 mm szemnagyság: 5000 g ± 50 g<br>Az acélgolyók száma:<br>12 db</td><td>10-14<br>Követelmény továbbá, hogy<br>- a 11,2 mm-es szitán 30-40 m%,<br>- vagy a 12,5 mm-es szitán 60-70 m% cssék át<br>Acélgolyók összes tömege dobonként:<br>5000 ± 5 g</td><td>11,2-16<br>Követelmény továbbá, hogy a 14 mm-es szitán a vizsgálati adag 65±1 m%-a essék át<br>Acélgolyók összes tömege dobonként:<br>7000 ± 10 g</td></tr>
</table>

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ EN 1097-2 :2000 | Los Angeles ERRI D 182/RP 4 (1994.) | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1 :1998 | Skandináv MSZ EN 1097-9 :2000 |
|---|---|---|---|---|
| **Vizsgálati módszer jellemzői** | | | | |
| Vizes vizsgálat esetén az egyes dobokba öntendő víz térfogata, $cm^3$ | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | Nincs vizes vizsgálat, csak száraz | 2500 ± 50 | 2000±10 |
| Percenkénti fordulatszám | 31 - 33 | 30 - 33 | 100 ± 5 | 90 ± 3 |
| Összes fordulatszám | 500 | 1000 | 12000 ± 10 | 5400 ± 10 |
| **Vizsgálati eredmény** | | | | |
| Aprózódási veszteség, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, g | Az 1,6 mm szemnagyság alá aprózódott anyag tömege | | | A 2 mm szemnagyság alá aprózódott (kopott) anyag tömege |
| Aprózódás, a vizsgálati minta kiszárított állapotában, tömeg% | Los Angeles érték vagy tényező, ***LA*** = Egy vizsgálati adagnak a vizsgálata végeztével az 1,6 mm lyukbőségű szitán áthullott tömeghányada<br><br>[Fogalmi eltérés az MSZ 18287-1 szabványhoz képest nincs, csak a jelölés más] | Los Angeles aprózódás értéke, ***LA*** = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati minta tömegének százalékában<br>[Fogalmi eltérés az MSZ 18287-1 szabványhoz képest nincs, csak a jelölés más] | Mikro-Deval aprózódás (vizes vizsgálat), $M_{DE}$ = Az 1,6 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási veszteség a vizsgálati adag tömegének százalékában<br><br>A jelölés száraz vizsgálat esetén: $M_{DS}$ | Skandináv vizsgálat kopási értéke (vizes vizsgálat), $A_N$ = A 2 mm lyukbőségű szitával meghatározott aprózódási (kopási) veszteség a vizsgálati adag tömegének százalékában |
| Szilárdság, mértékegység nélküli szám | Nincs ilyen fogalom | | | |

| Vizsgálat | Los Angeles MSZ EN 1097-2 :2000 illetve prEN 1097-2:1994 | Los Angeles ERRI D 182/RP 4 (1994.) | Mikro-Deval MSZ EN 1097-1 :1998 illetve prEN 1097-1:1993 | Skandináv MSZ EN 1097-9 :2000 illetve prEN 1097-9:1994 |
|---|---|---|---|---|

**Követelmény a hivatkozó termék és építési szabványokban, műszaki előírásokban (6)**

prEN 12620:1996 „Gesteinskörnungen für Beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten”
(Betonokra és betonutakra vonatkozó európai szabvány tervezet)

| Kategória | Követelmény [tömeg%] | | Követelményt az európai szabvány tervezet nem ad meg, de előírja, hogy szükség esetén vagy a *mikro-Deval* vagy a csiszolódási (prEN 1097-8) vagy a *Skandináv* vizsgálatot el kell végezni, és a vizsgálat eredményét meg kell adni. |
|---|---|---|---|
| $LA_A$ | $LA \leq 20$ | | |
| $LA_B$ | $20 < LA \leq 30$ | | |
| $LA_C$ | $30 < LA \leq 40$ | | |
| $LA_D$ | $LA > 40$ | | |

CEN/TC 154/SC 3 „Europäischer Normentwurf für Mineralstoffe für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen (1995.)”
(Aszfaltokra és felületi bevonatokra vonatkozó európai szabvány tervezet)

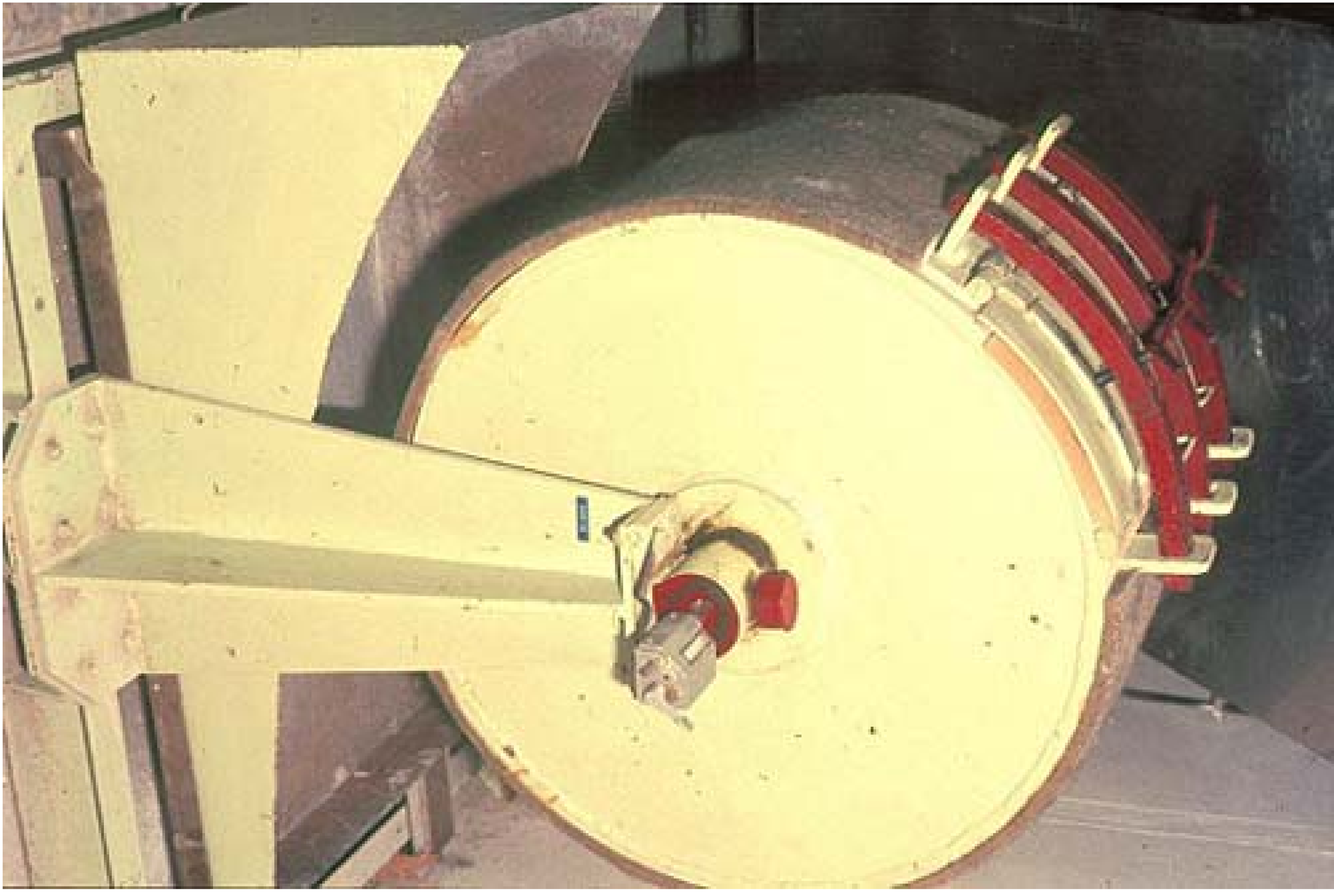
| Kategória | Követelmény [tömeg%] | | Követelmény [tömeg%] | Követelmény [tömeg%] |
|---|---|---|---|---|
| *A* | $LAV \leq 15$ | | $M_{DE} \leq 10$ | $A_N \leq 7$ |
| *B* | $15 < LAV \leq 20$ | | $10 < M_{DE} \leq 15$ | $7 < A_N \leq 10$ |
| *C* | $20 < LAV \leq 25$ | | $15 < M_{DE} \leq 20$ | $10 < A_N \leq 14$ |
| *D* | $25 < LAV \leq 30$ | | $20 < M_{DE} \leq 25$ | $14 < A_N \leq 19$ |
| *E* | $30 < LAV \leq 40$ | | $25 < M_{DE} \leq 35$ | $19 < A_N \leq 30$ |
| *F* | $40 < LAV \leq 50$ | | $M_{DE} > 35$ | $A_N > 30$ |
| *G* | $LAV > 50$ | | | |

ERRI D 182/RP 4 (Utrecht, 1994.) „Einheitliche technische Lieferbedingungen und Beschreibung des Qualitätsschicherungssystems für Bahnschotter” (Európai vasúti kutatóintézeti jelentés)

| Vasúti ágyazati zúzottkő, szemnagyság: 22,4 - 63 mm | Ajánlás* [tömeg%] |
|---|---|
| | $LA \leq 15$ |

*Az *LA* értékre vonatkozó ajánlás azon vasúti fővonalakra érvényes, amelyeken

- a személyvonatok legnagyobb sebessége 200 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 200 kN, továbbá
- a tehervonatok legnagyobb sebessége 100 km/óra és tengelyterhelése legfeljebb 225 kN.

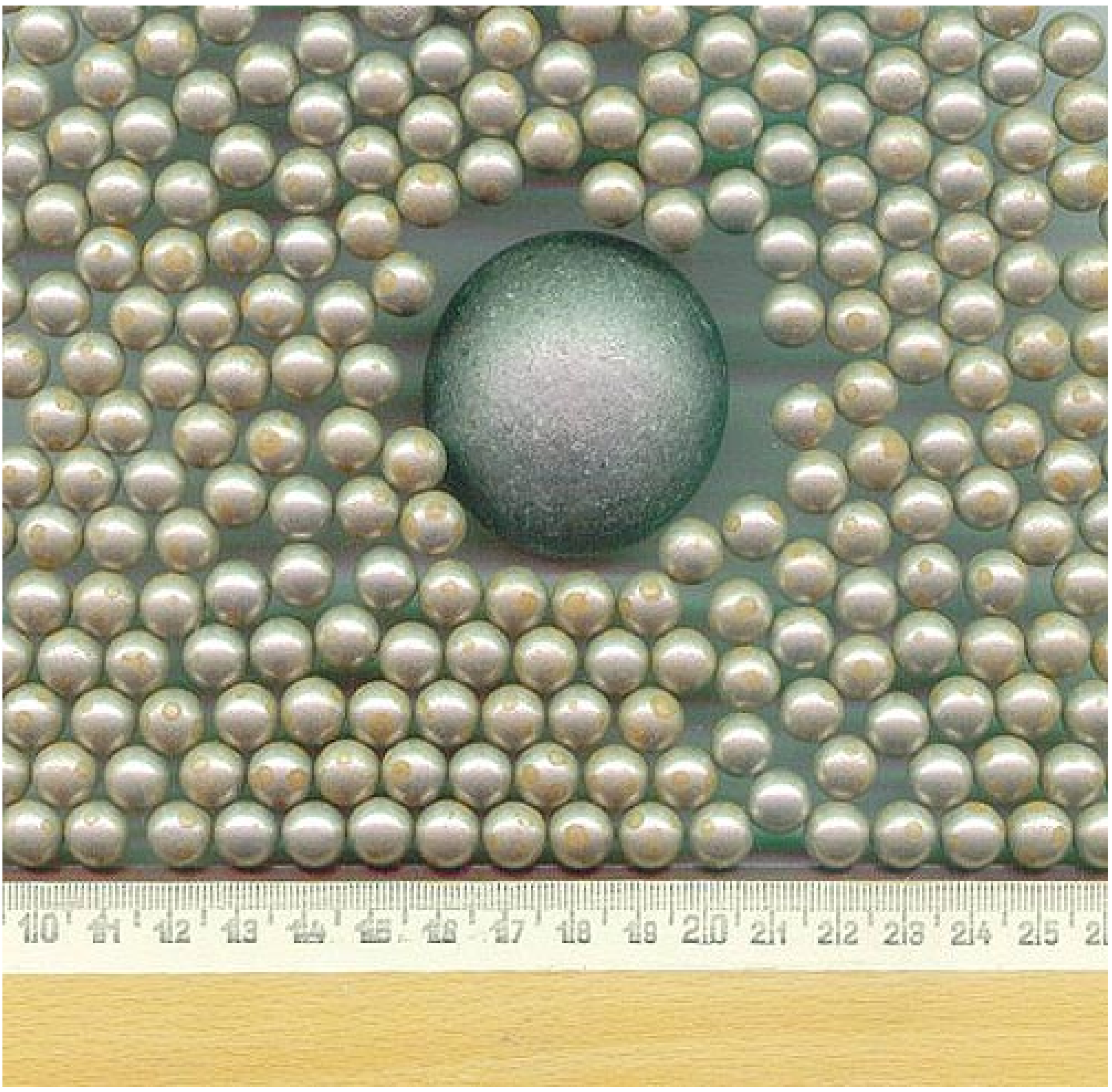


# Los Angeles berendezés

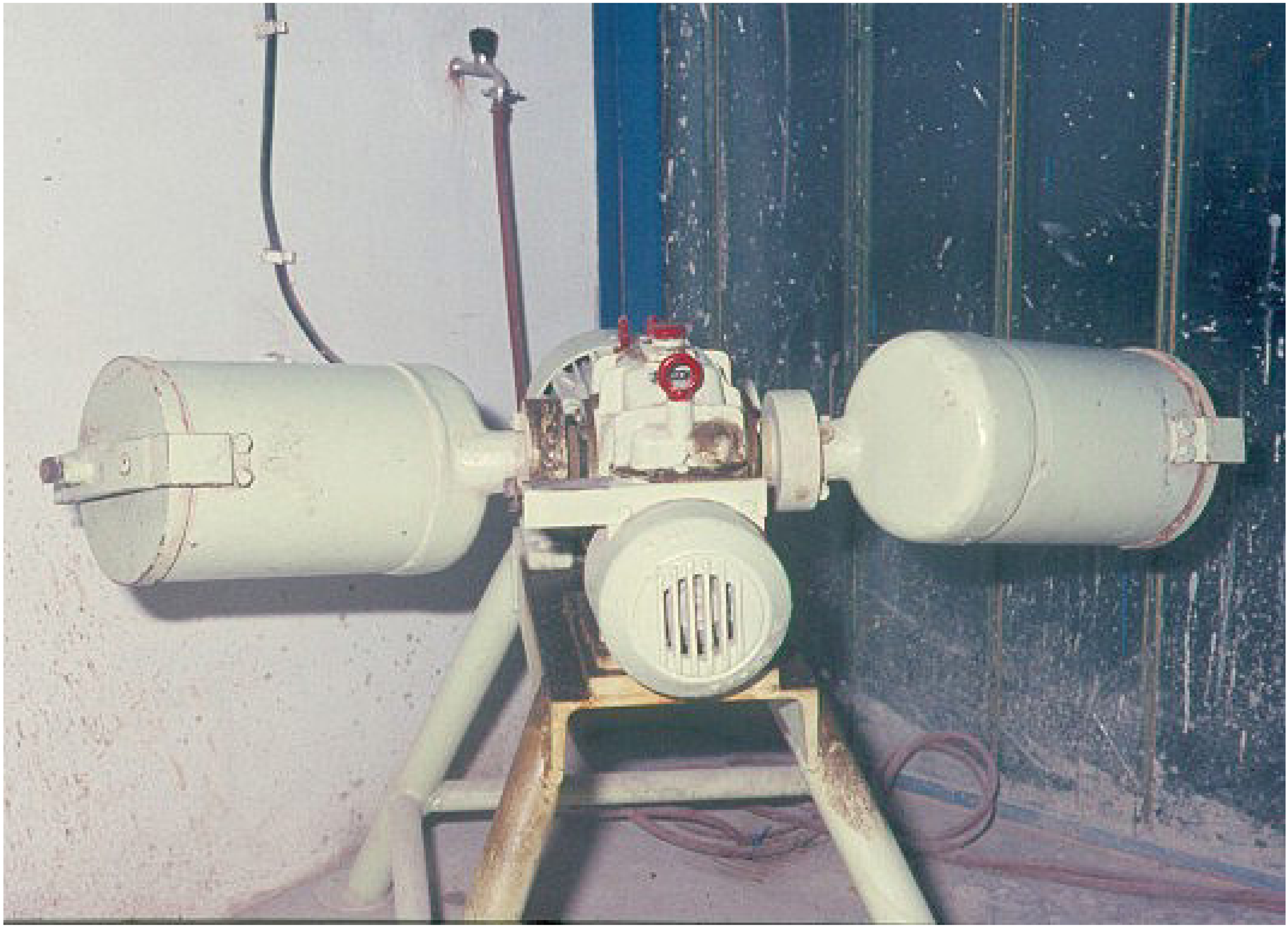
**Fenti fénykép:**
**Los Angeles aprózódás vizsgáló berendezés, MSZ 18287-1:1991 (Lényegében változatlan tartalommal váltotta fel az MSZ 18287-1:1978 szabványt.) A fénykép az egykori SZIKKTI Betonosztály kőzetmechanikai laboratóriumában készült (Budapest, 1983.)**

# Los Angeles berendezés

**Fenti fénykép:**
**Los Angeles aprózódás vizsgáló berendezés, EN 1097-2:2000**
**Forrás: A modenai "technotest" honlapja: http://www.tecnotest.it/Prodotti/Aggregati/abrasione.htm**



**Los Angeles golyó**
**mikro-Deval golyók társaságában**
A szerző felvétele (Budapest, 2001.)



# Deval berendezés

**Fenti fénykép:**
**Deval aprózódás vizsgáló berendezés,**
**MSZ 18287-2:1983**
**A fénykép az egykori SZIKKTI Betonosztály kőzetmechanikai laboratóriumában készült (Budapest, 1983.)**

# Deval berendezés

**Fenti fénykép: Deval aprózódás vizsgáló berendezés. Forrás: A modenai "technotest" honlapja: http://www.tecnotest.it/Prodotti/Aggregati/abrasione.htm**

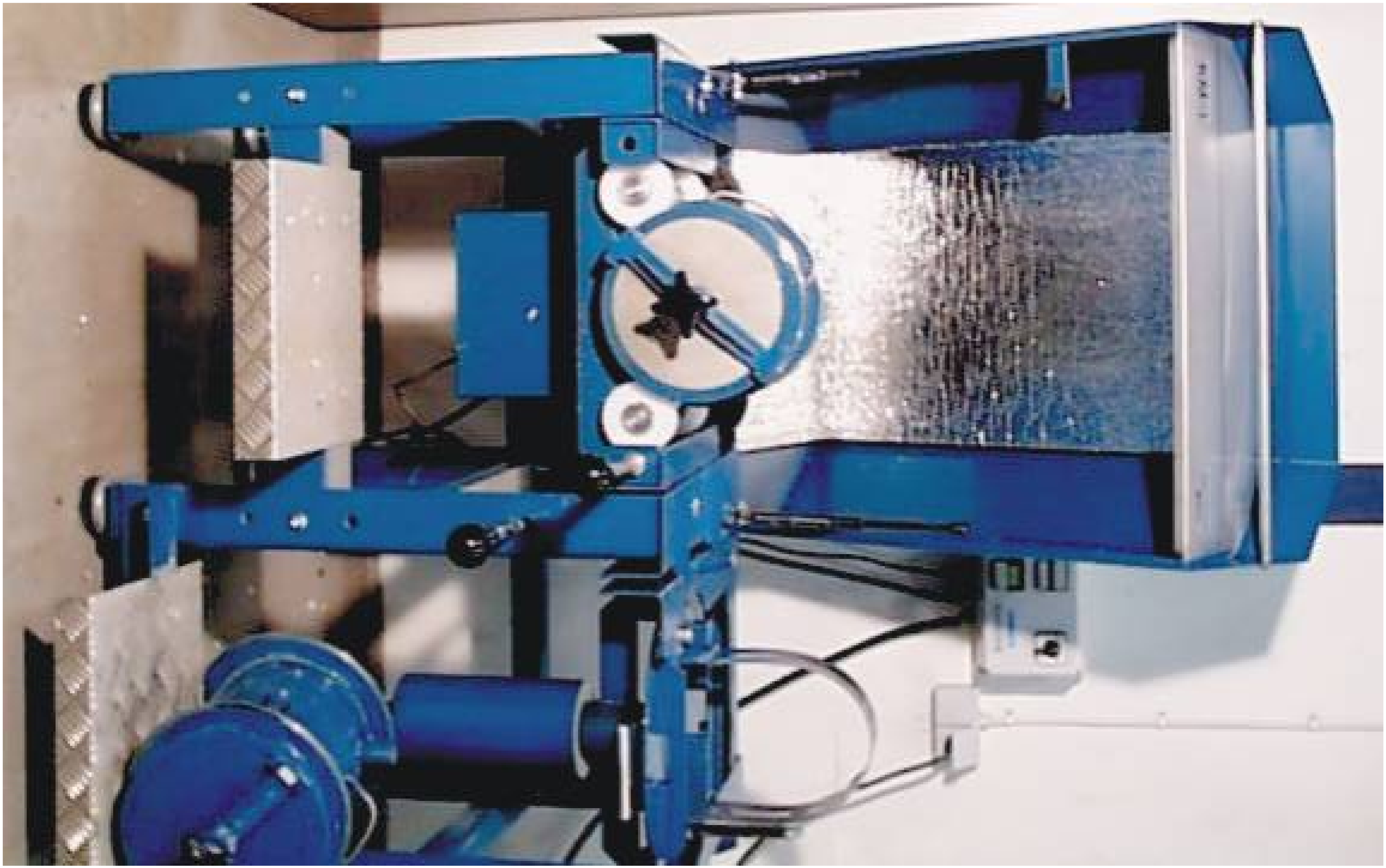
# Mikro-Deval berendezés

**Fenti fénykép:**
**Mikro-Deval aprózódás vizsgáló berendezés, MSZ 18287-6:1984**

**A fénykép az egykori SZIKKTI Betonosztály kőzetmechanikai laboratóriumában készült (Budapest, 1984.)**

# Mikro-Deval berendezés

Fenti fénykép:
Mikro-Deval aprózódás vizsgáló berendezés,
EN 1097-1:1998
Forrás: A modenai "technotest" honlapja:
http://www.tecnotest.it/Prodotti/Aggregati/abrasione.htm



# Skandináv berendezés

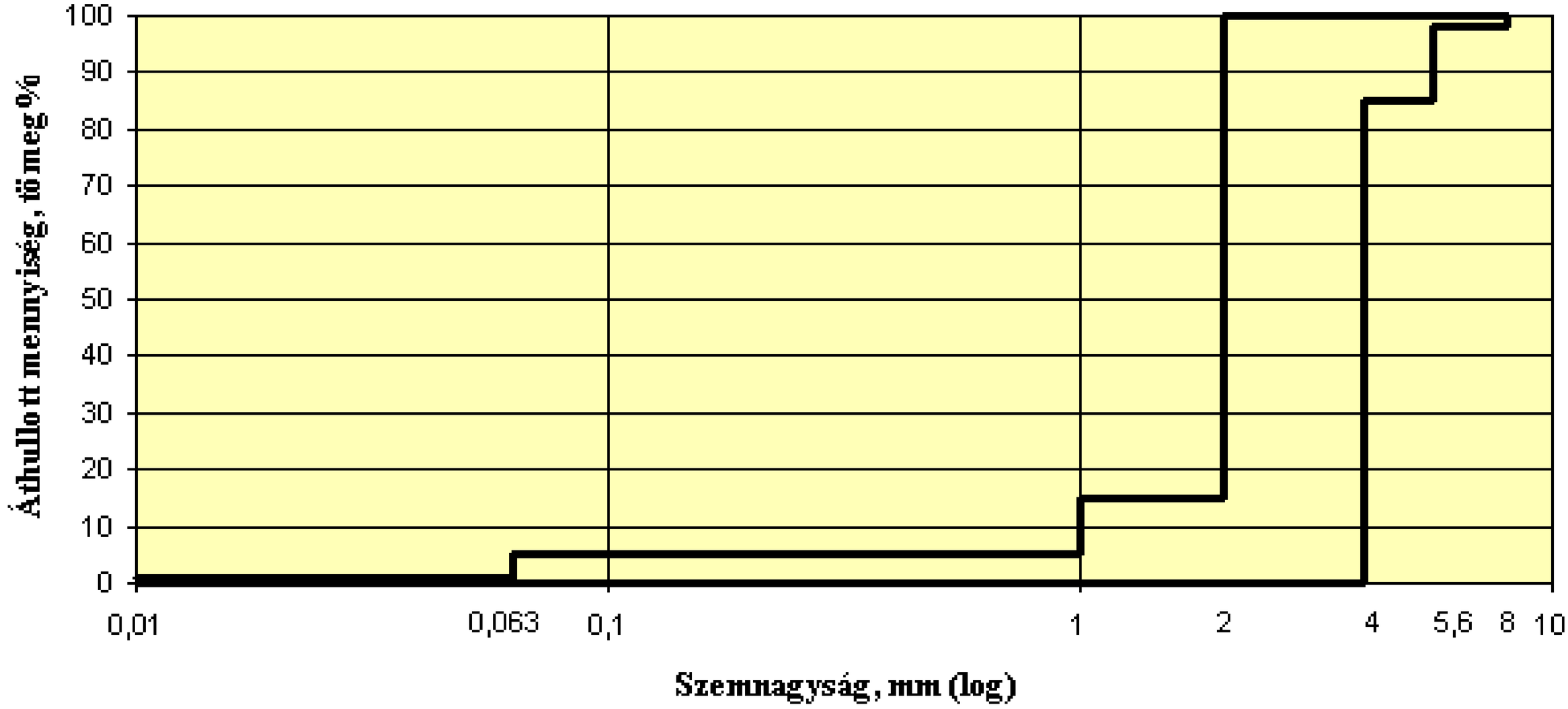
**Fenti fénykép:**
**Skandináv aprózódás (kopás) vizsgáló berendezés,**
**EN 1097-9:2000**
**A fénykép a Swedish National Road and Transport Research Institute ajándéka**
**(Linköping, 2001.)**

# Zúzottkő és zúzottkavics termékek szemmegoszlási határgörbéi és kőzetfizikai csoportjai

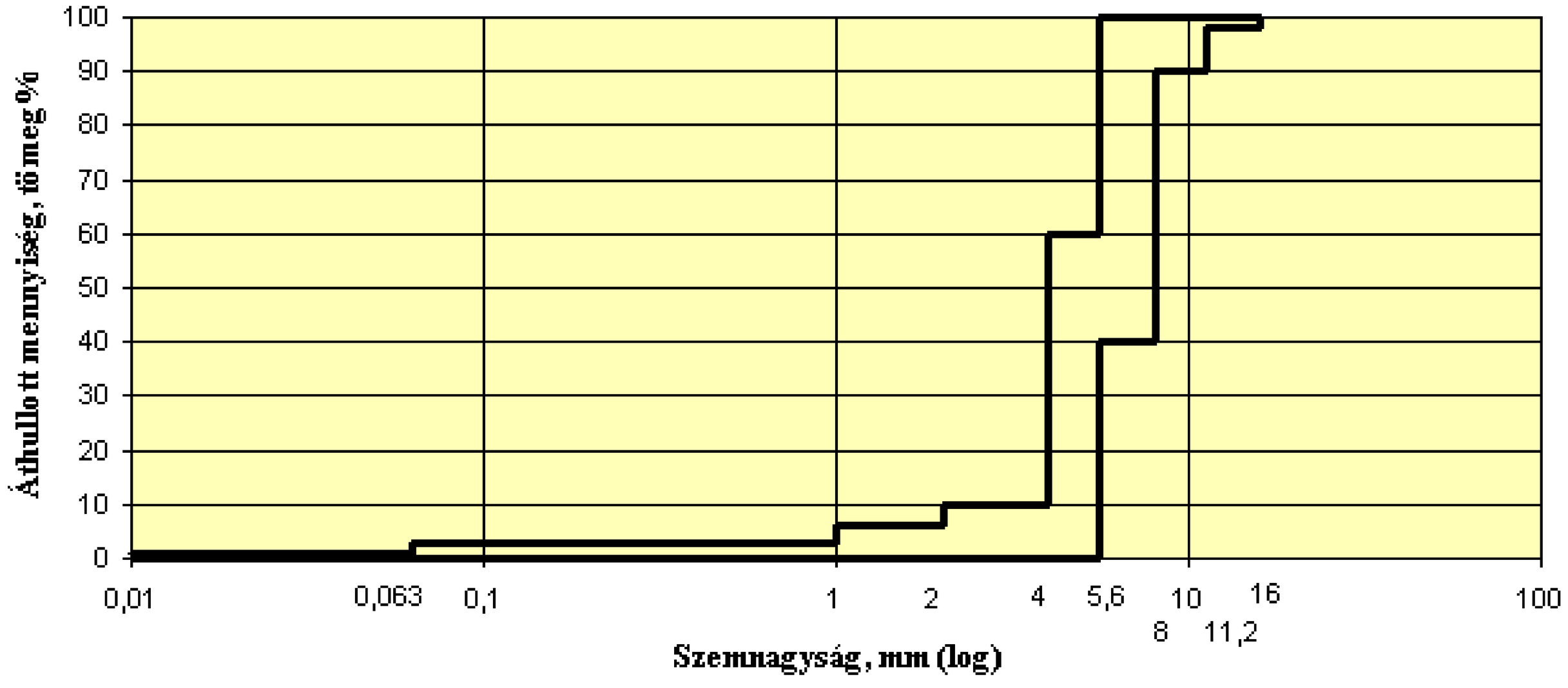
Kérjük szíveskedjék a táblázatban szereplő jelekre kattintani.

| Zúzottkő termékek szemmegoszlási határgörbéi | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KZ 2/4 | KZ 4/8 | KZ 8/11 | KZ 11/16 | KZ 16/22 | KZ 22/32 | | |
| NZ 0/2 | NZ 0/4 | NZ 4/11 | NZ 11/22 | NZ 22/32 | NZ 32/56 | | |
| Z 0/4 | Z 0/11 | Z 0/22 | Z 0/32 | Z 0/45 | Z 0/80 | Z 4/22 | Z 22/45 |
| **Zúzottkavics termékek szemmegoszlási határgörbéi** | | | | | | | |
| ZK 0/4 | ZK 4/8 | ZK 4/11 | ZK 8/11 | ZK 8/16 | ZK 11/22 | | |
| **Zúzott termékek kőzetfizikai csoportjai a különböző előírásokban** | | | | | | | |
| Los Angeles aprózódás alapján | | | Vizes mikro-Deval aprózódás alapján | | | Magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás alapján | |

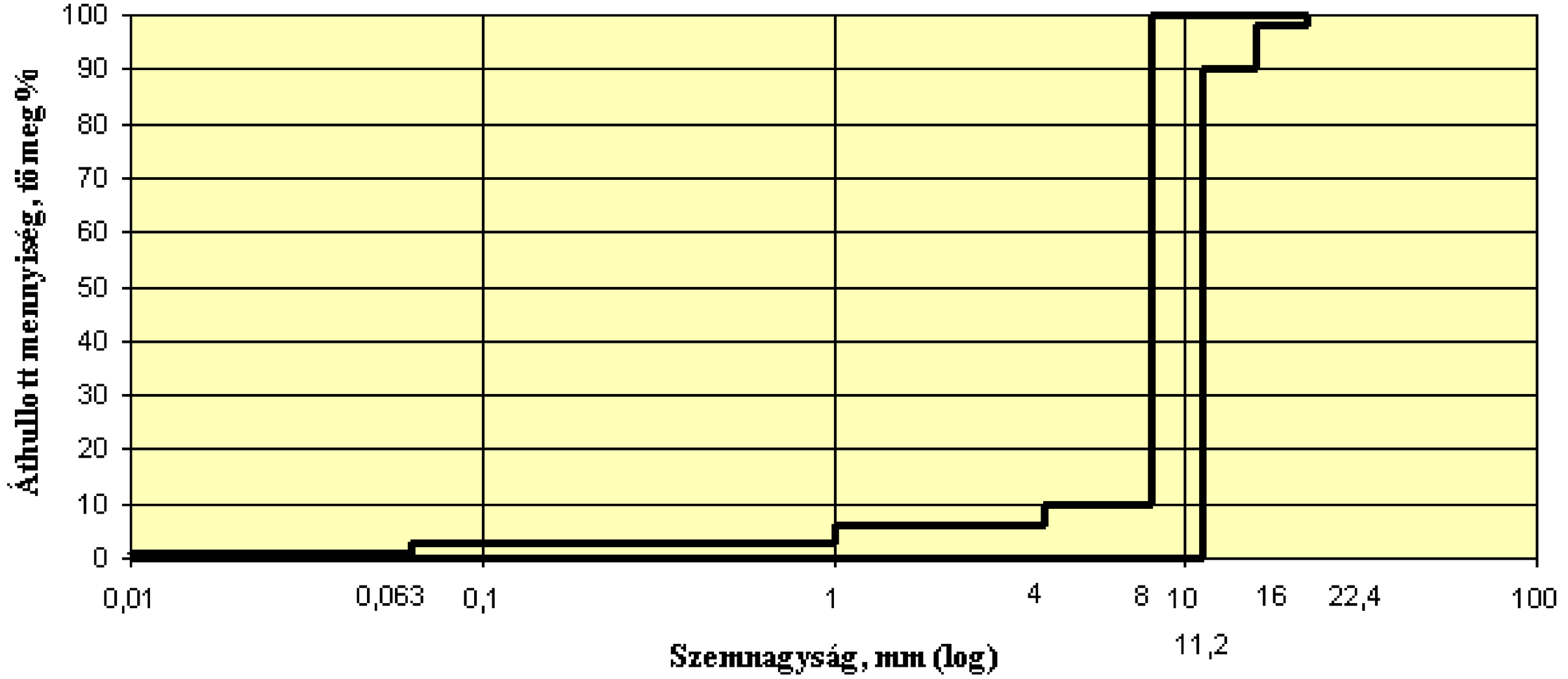
## KZ 2/4 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



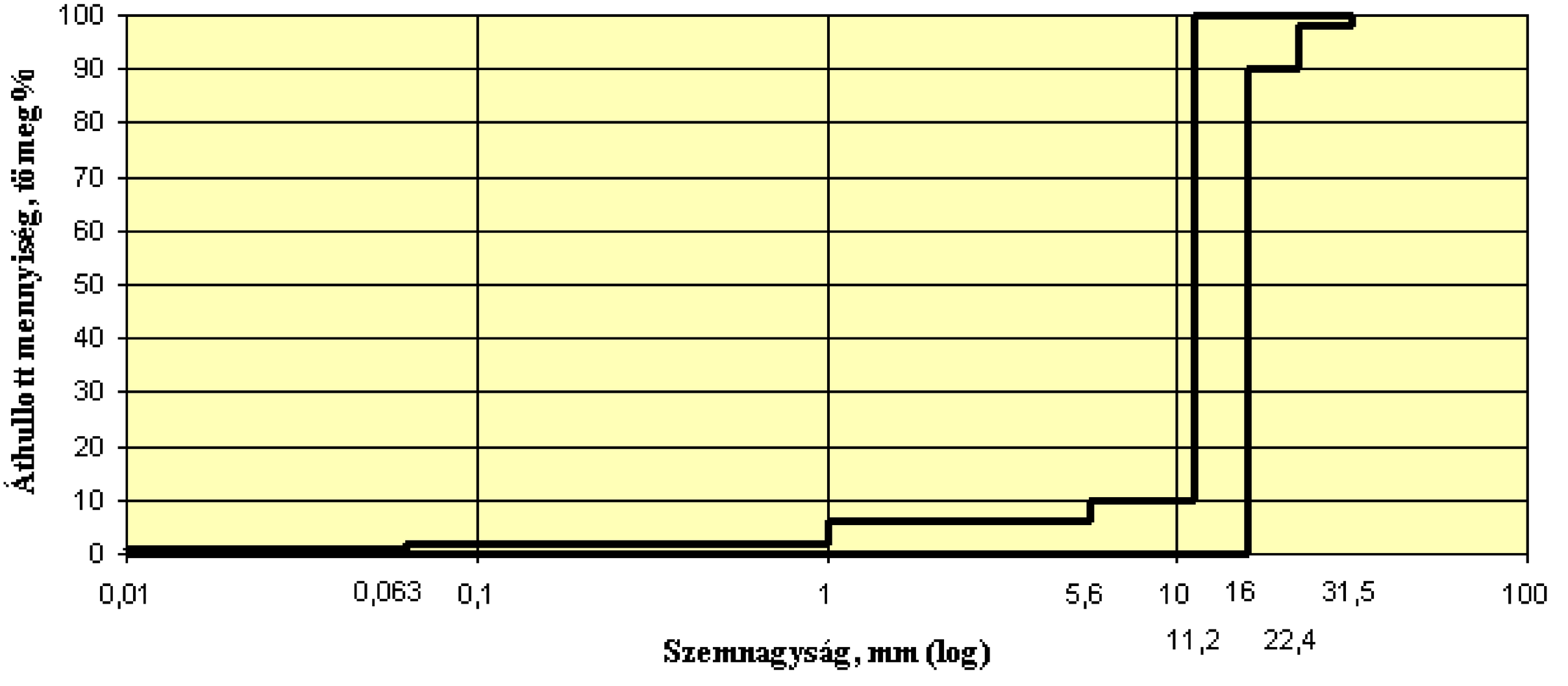

## KZ 4/8 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



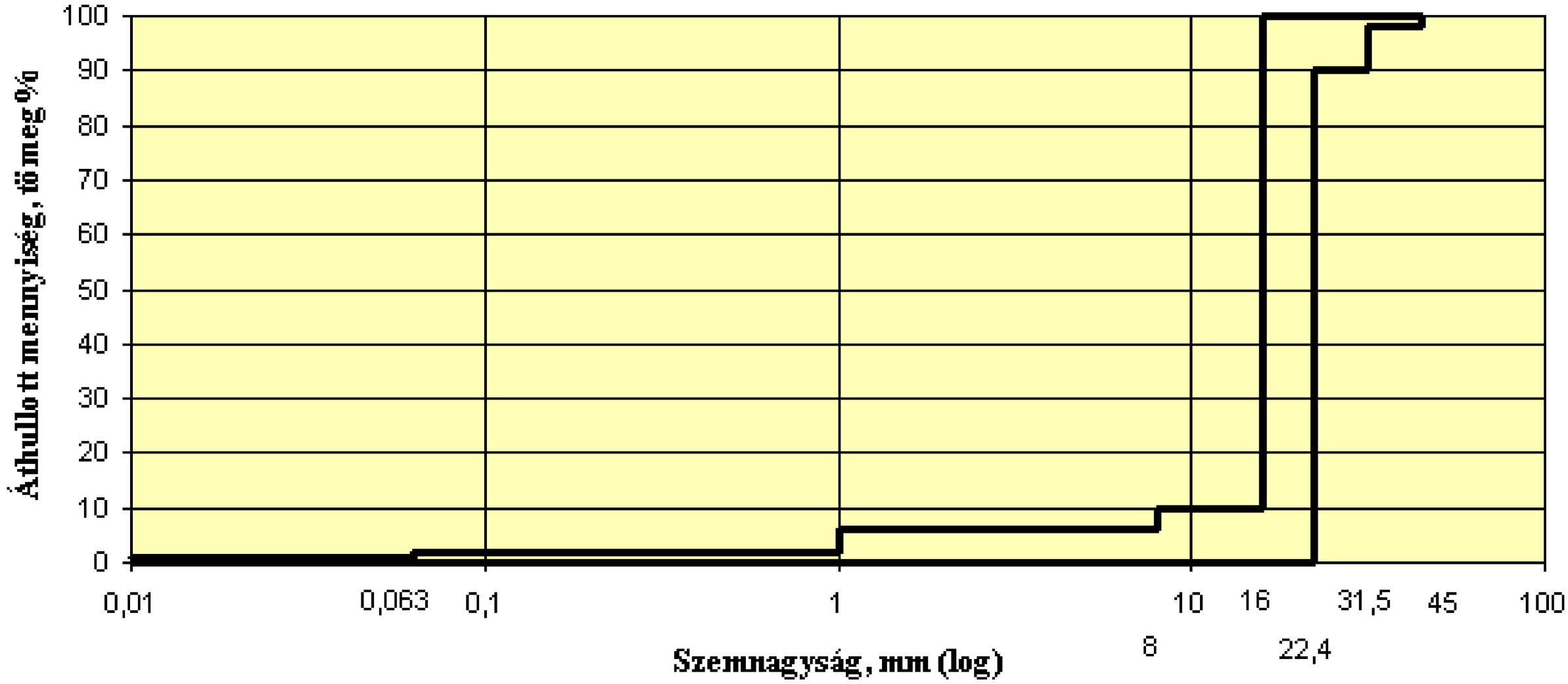
## KZ 8/11 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



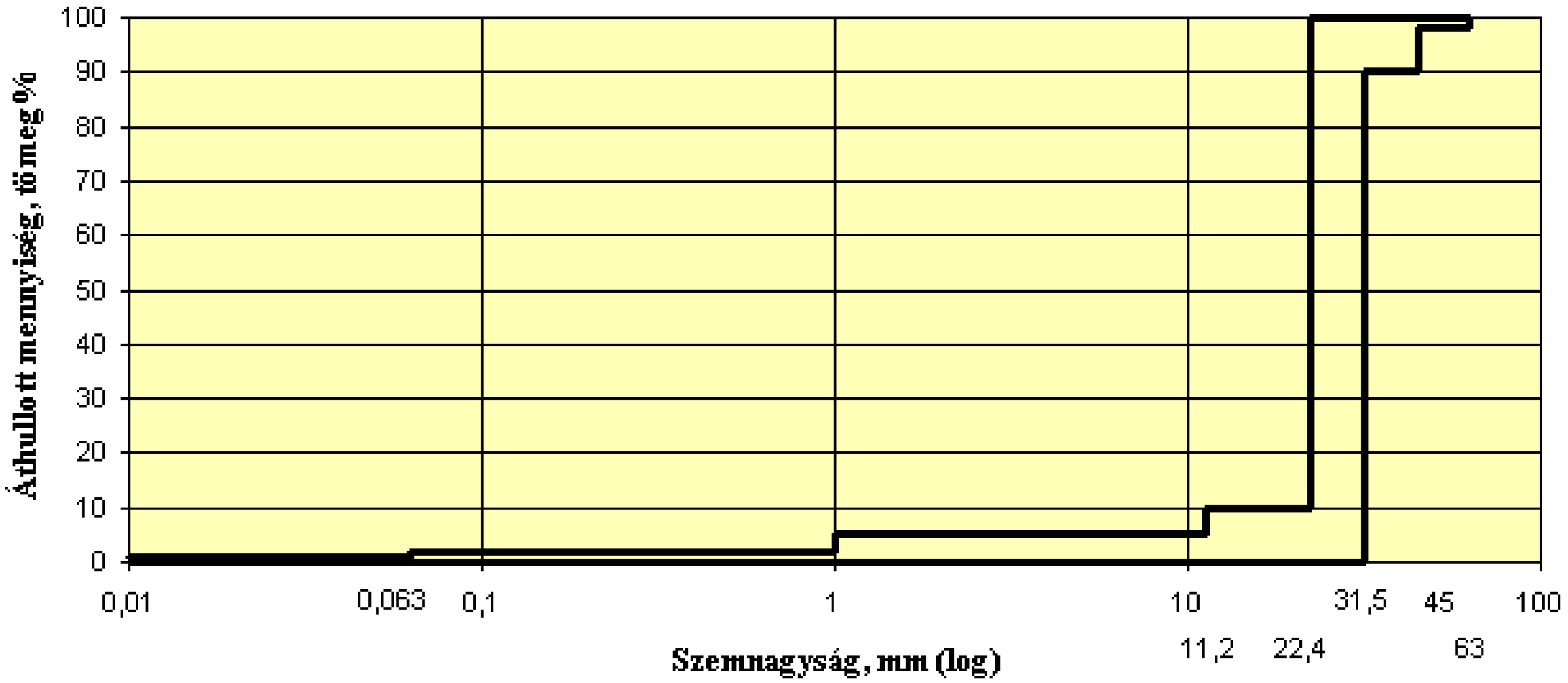

## KZ 11/16 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



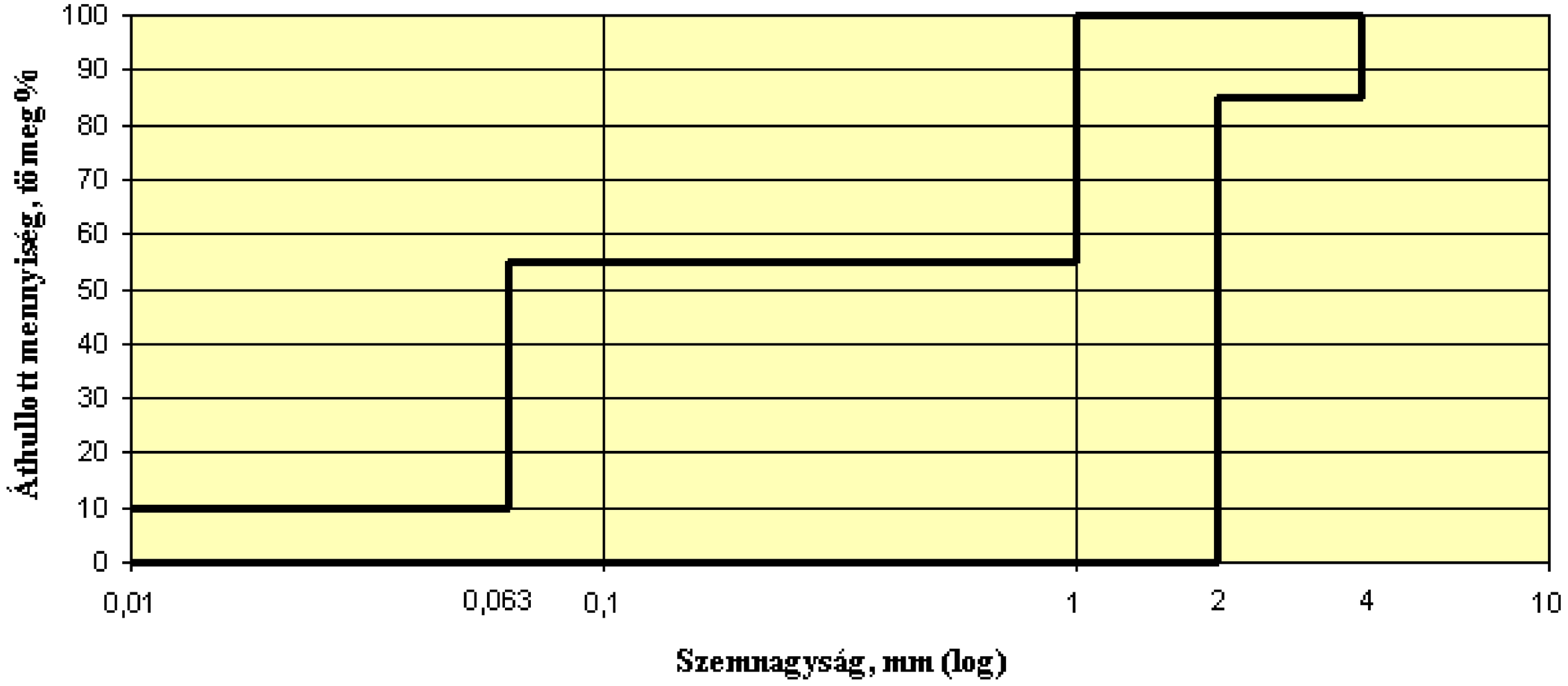
## KZ 16/22 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



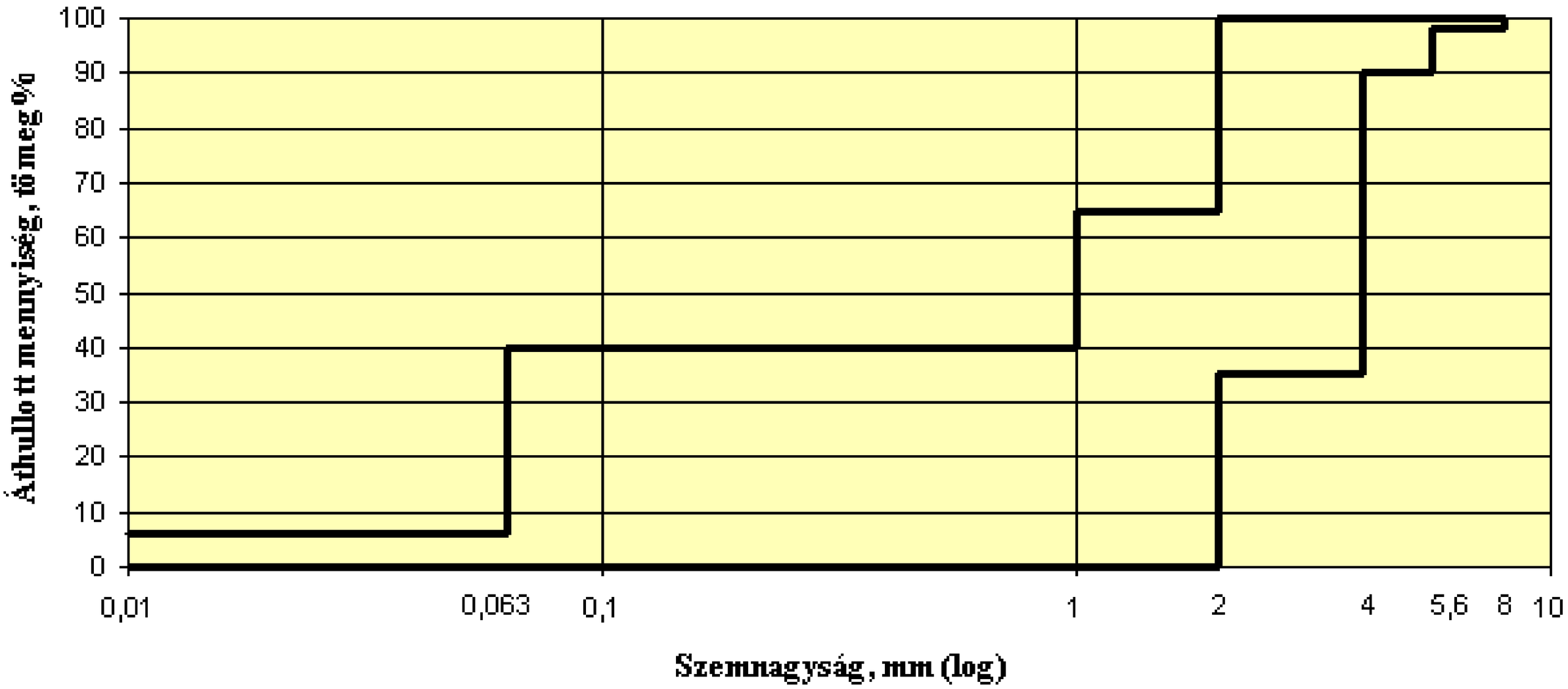

## KZ 22/32 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



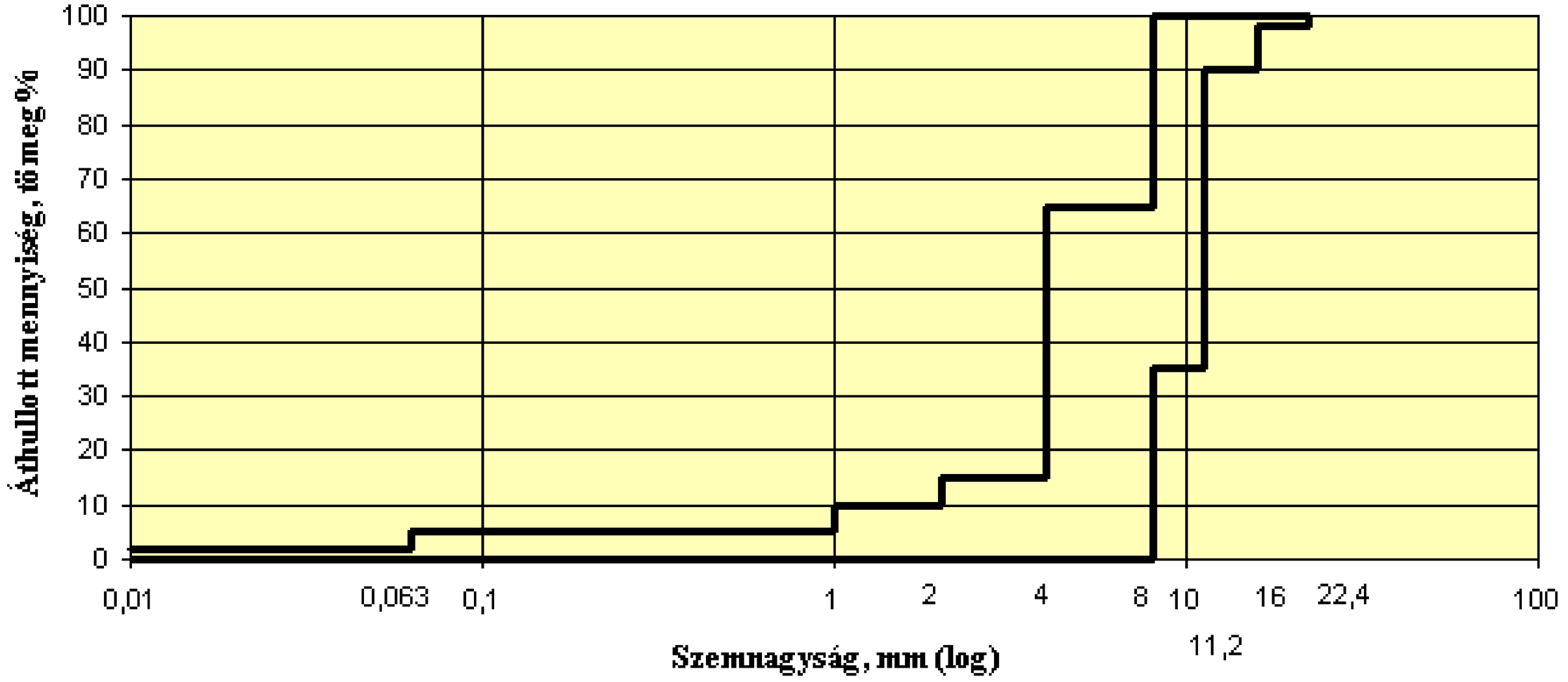
## NZ 0/2 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



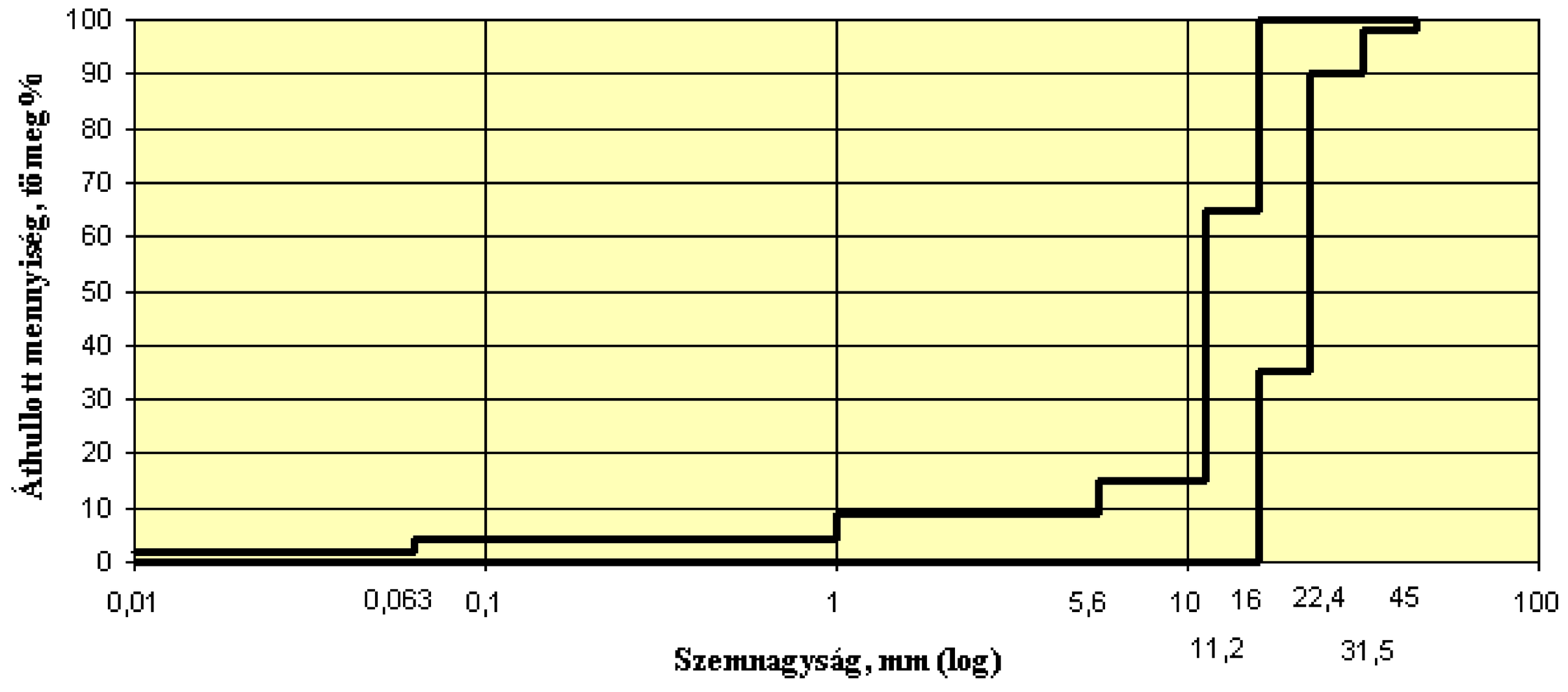

## NZ 0/4 jelű útépítési zúzottkő szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



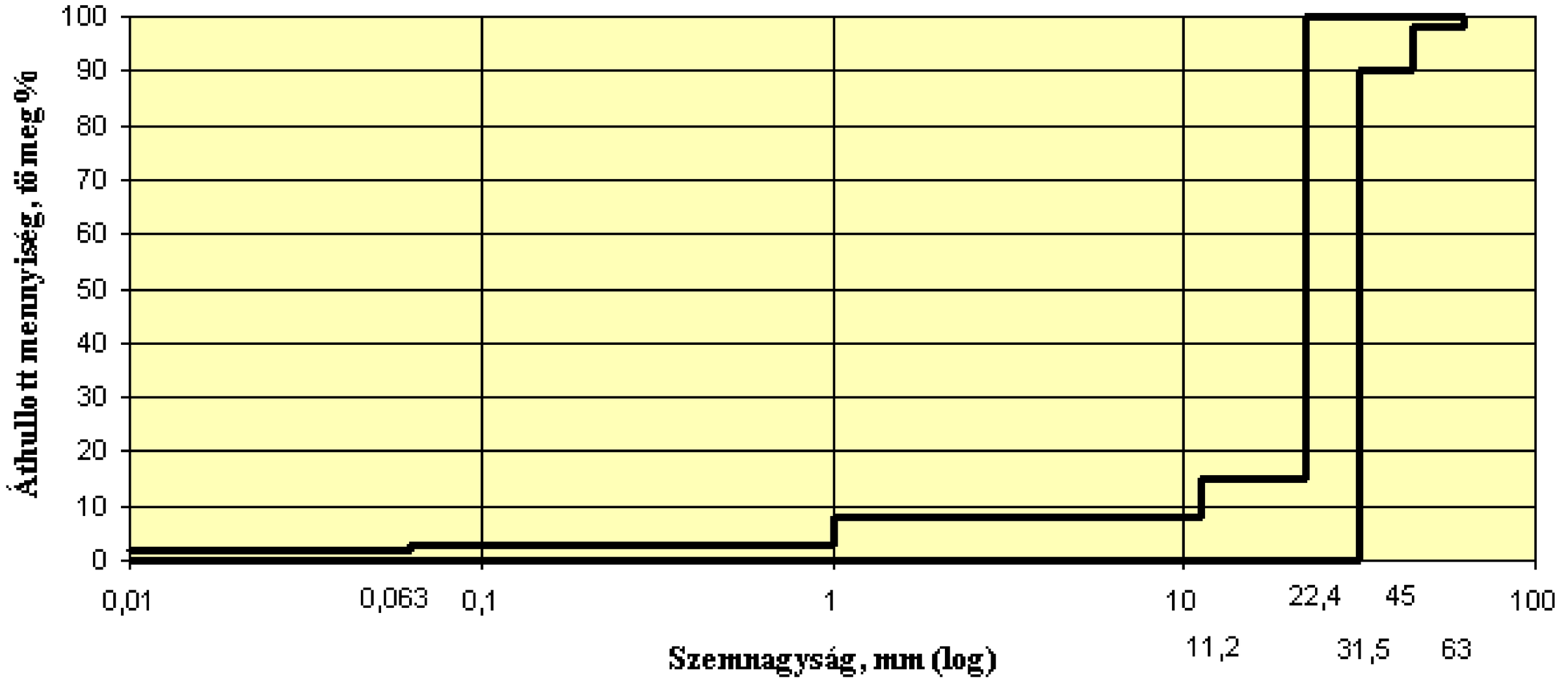
## NZ 4/11 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



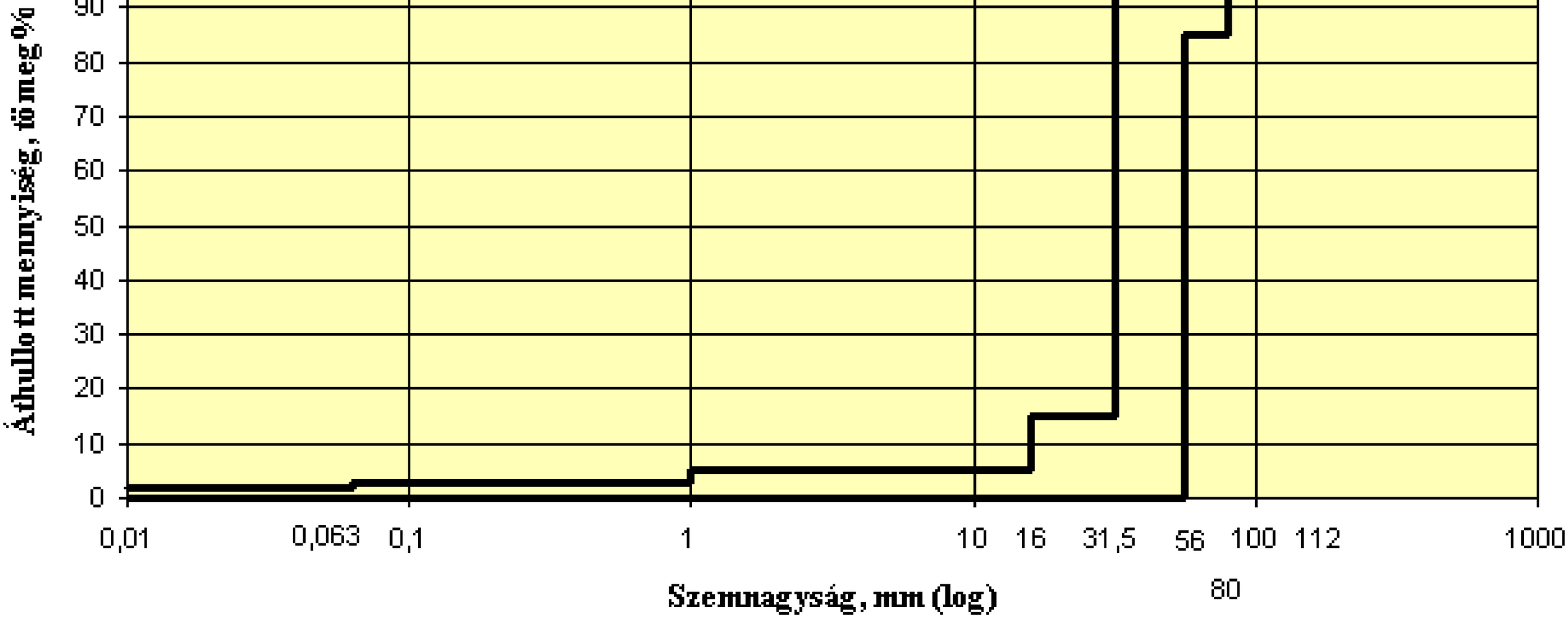

## NZ 11/22 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



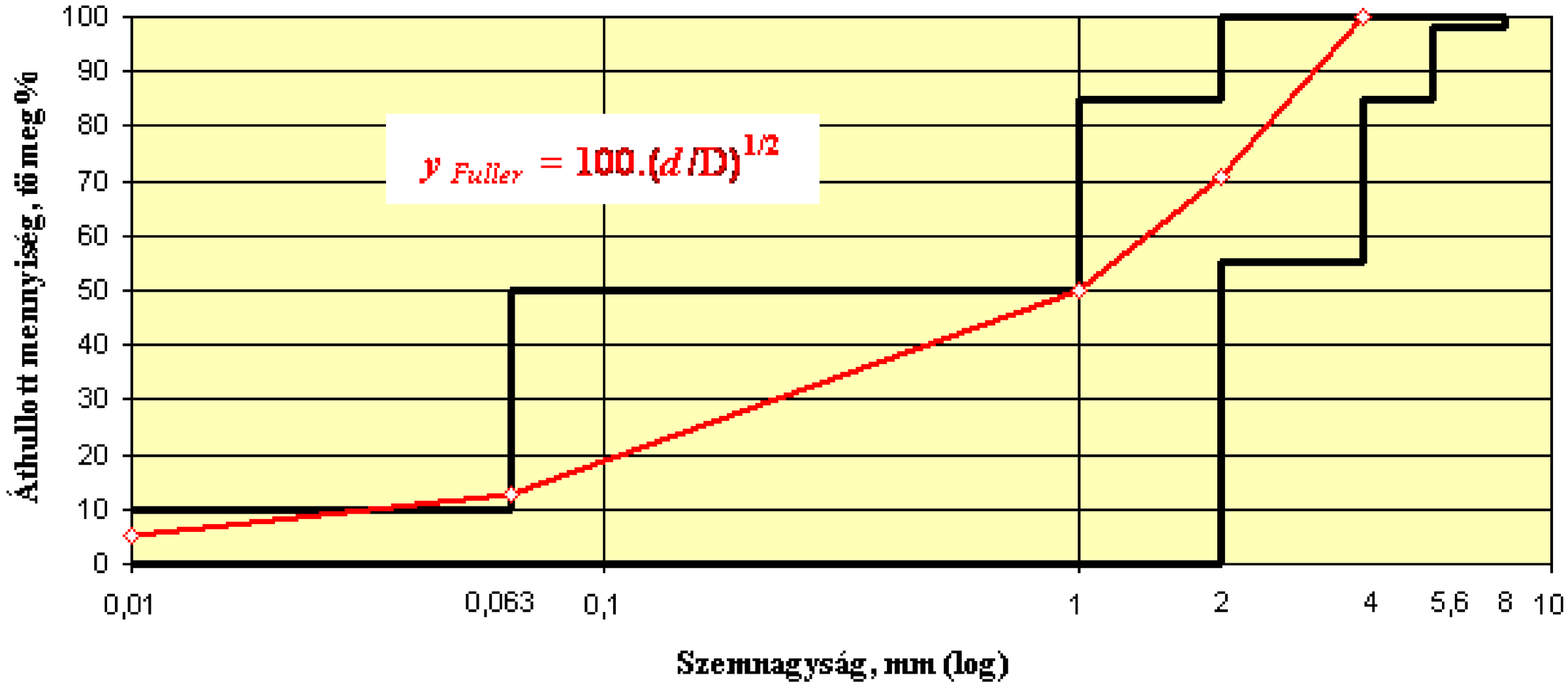
## NZ 22/32 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



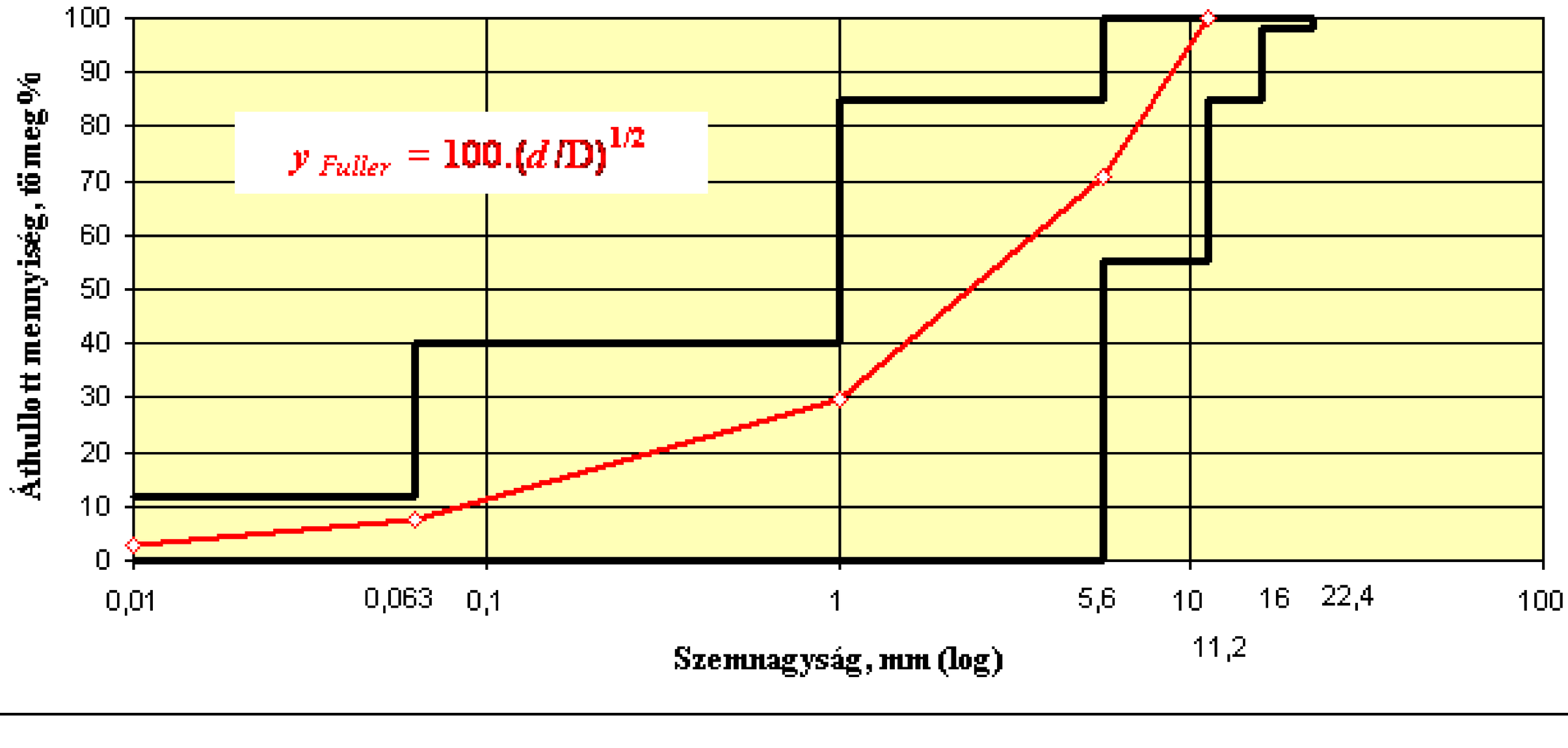

## NZ 32/56 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



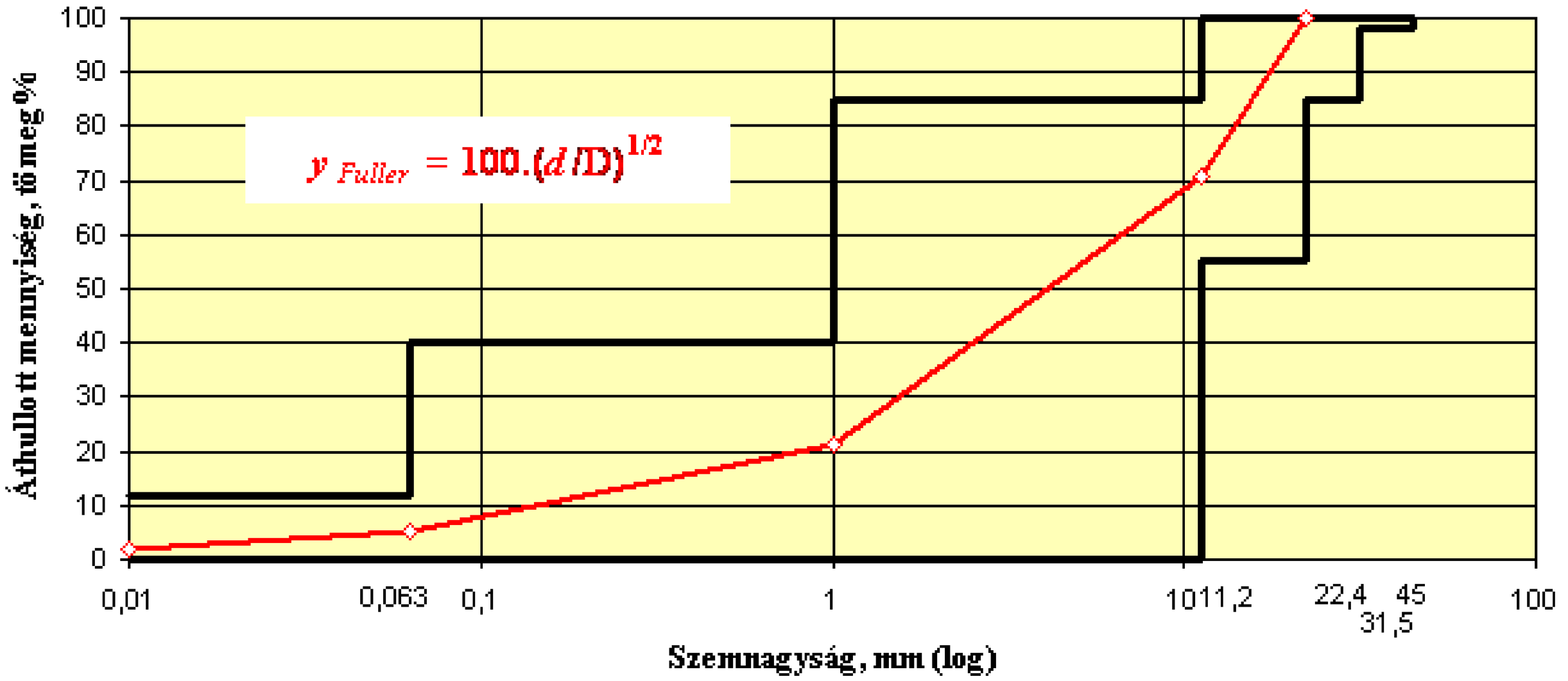
## Z 0/4 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



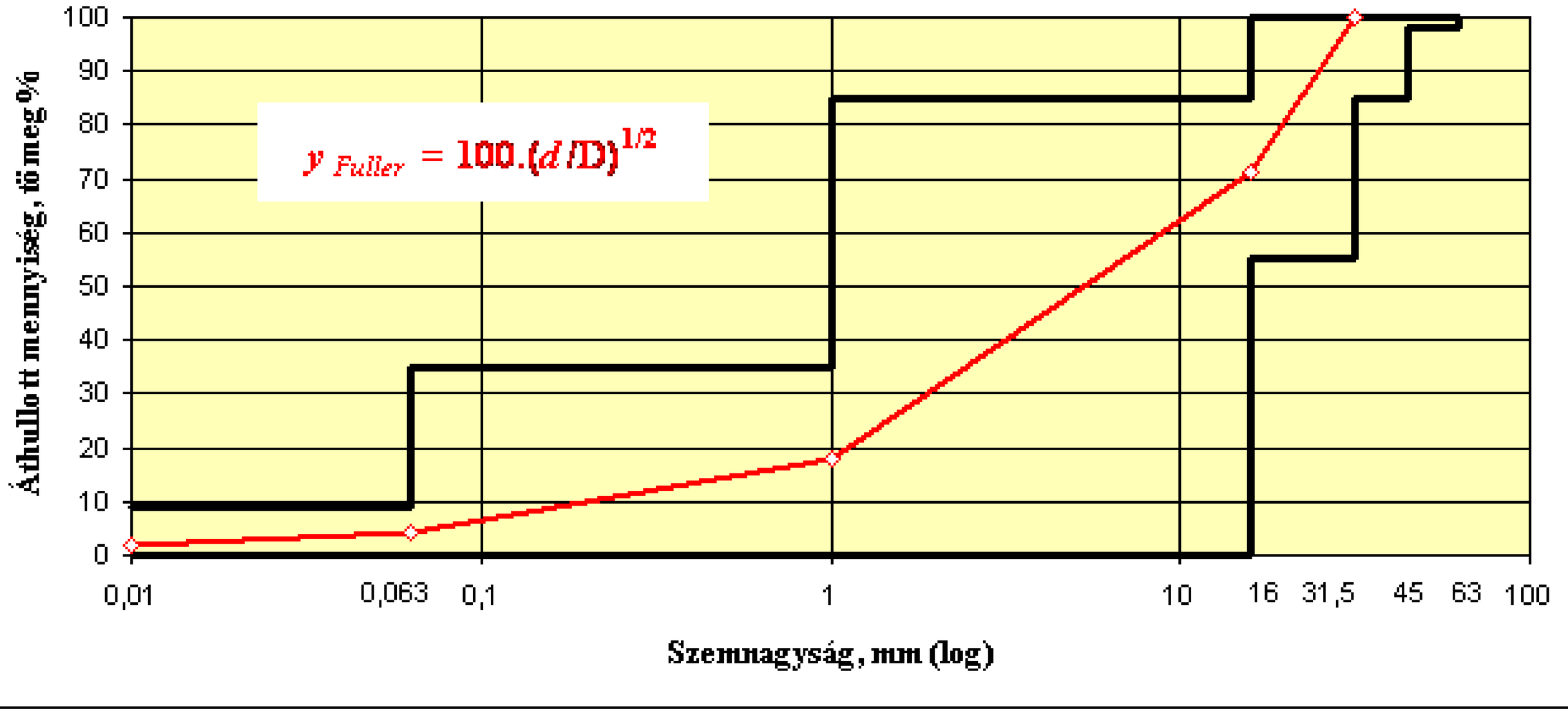

## Z 0/11 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



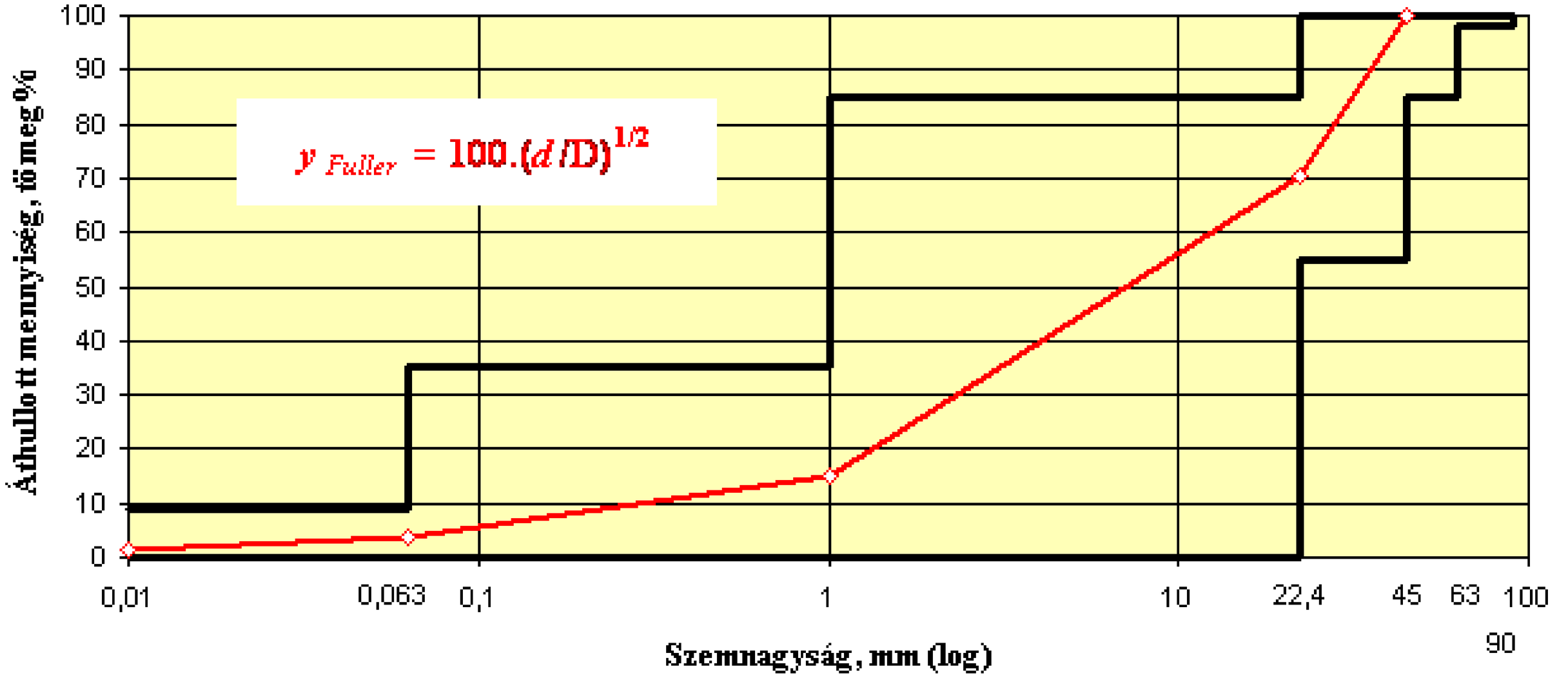
## Z 0/22 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



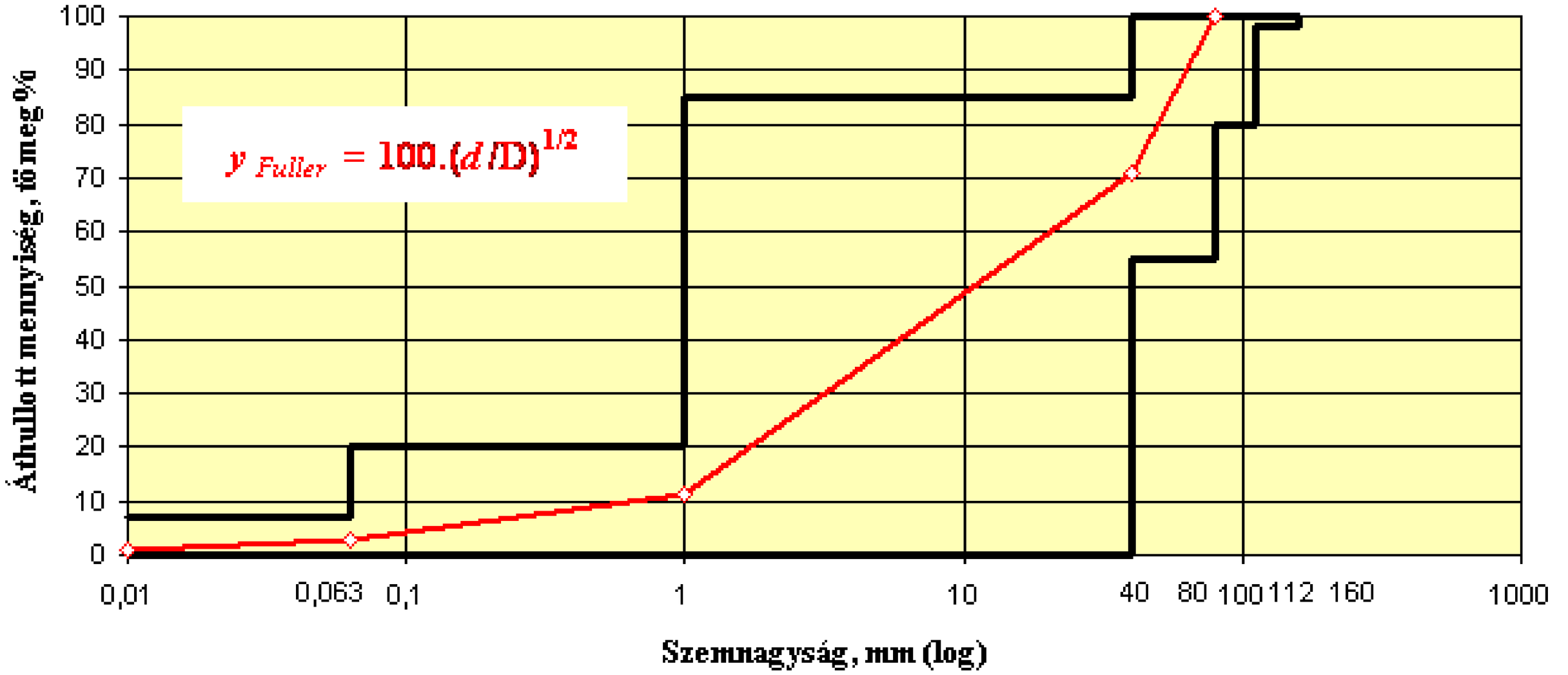

## Z 0/32 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye
## ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



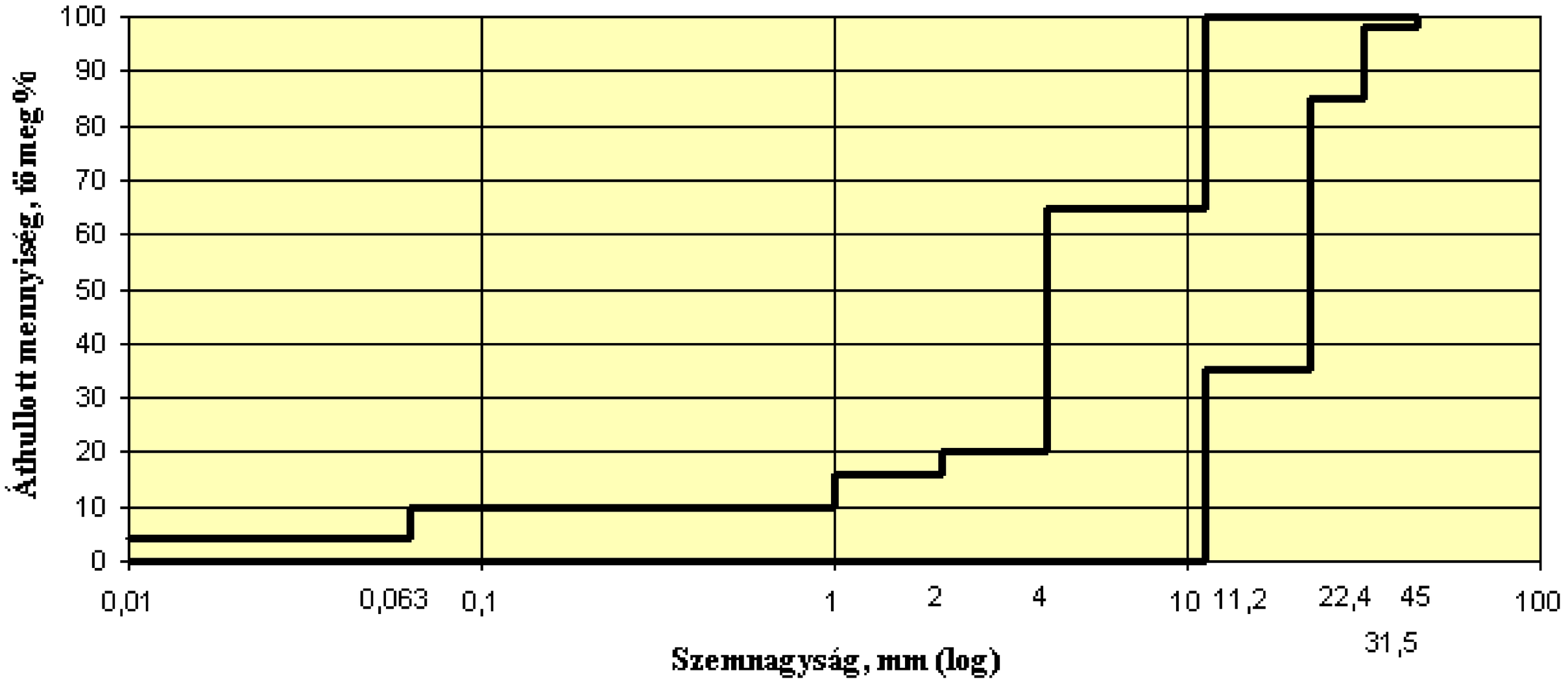
## Z 0/45 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



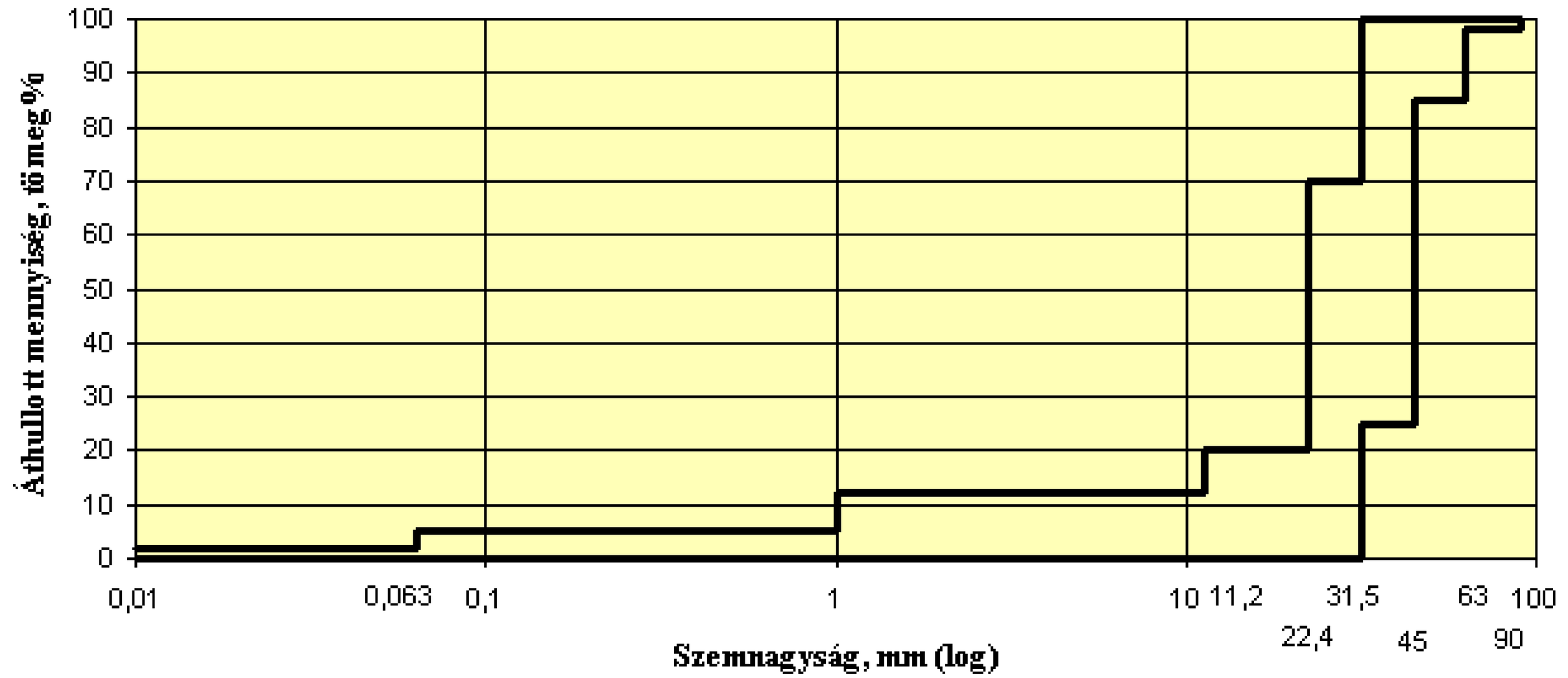

## Z 0/80 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint, és a Fuller-parabola



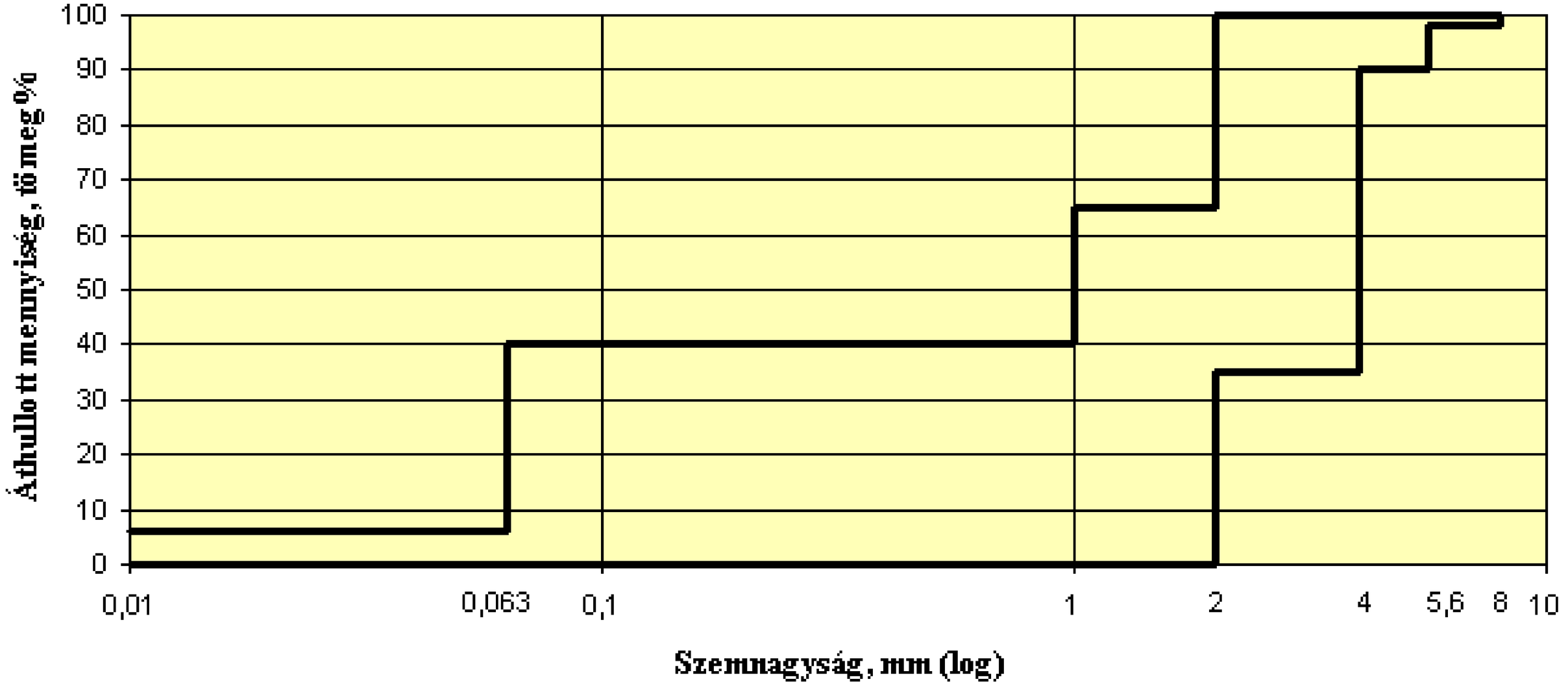
## Z 4/22 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



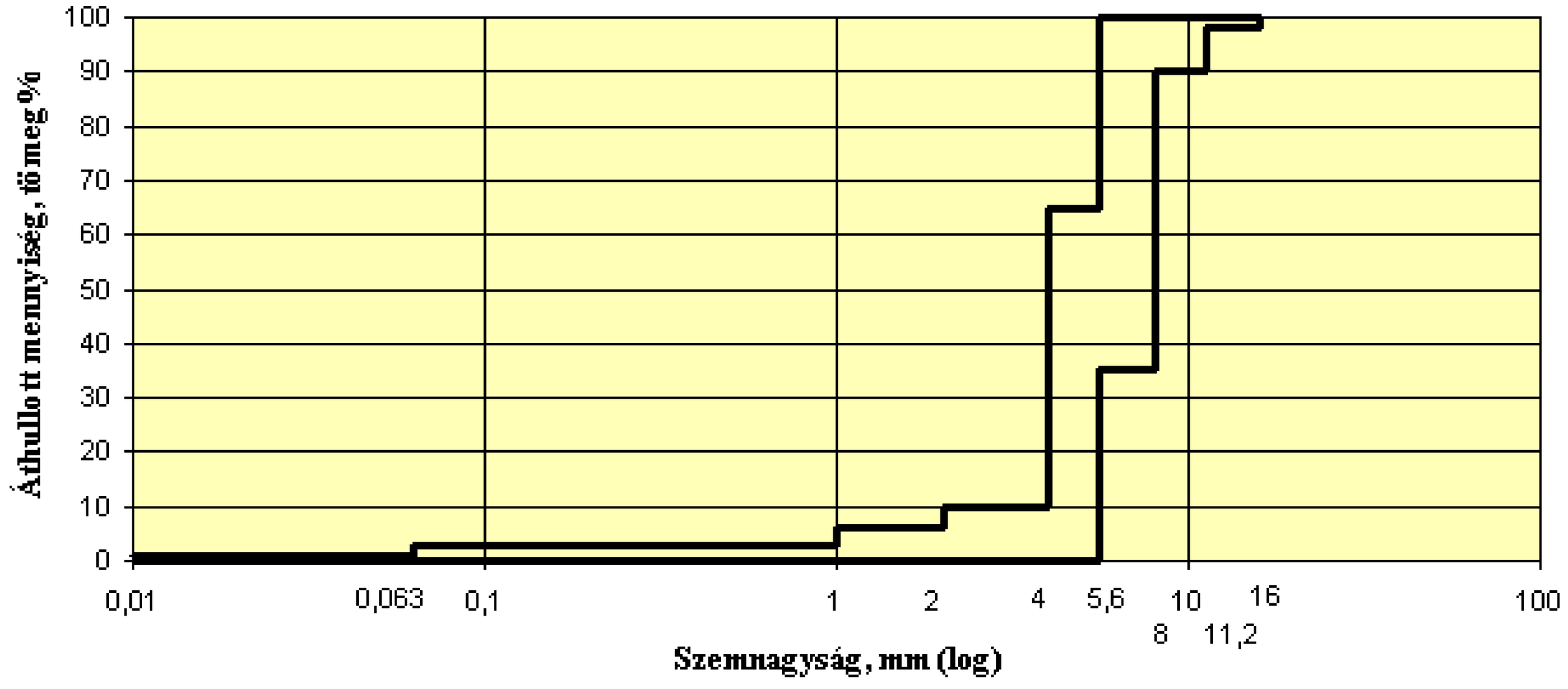

## Z 22/45 jelű útépítési zúzottkő szemmegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



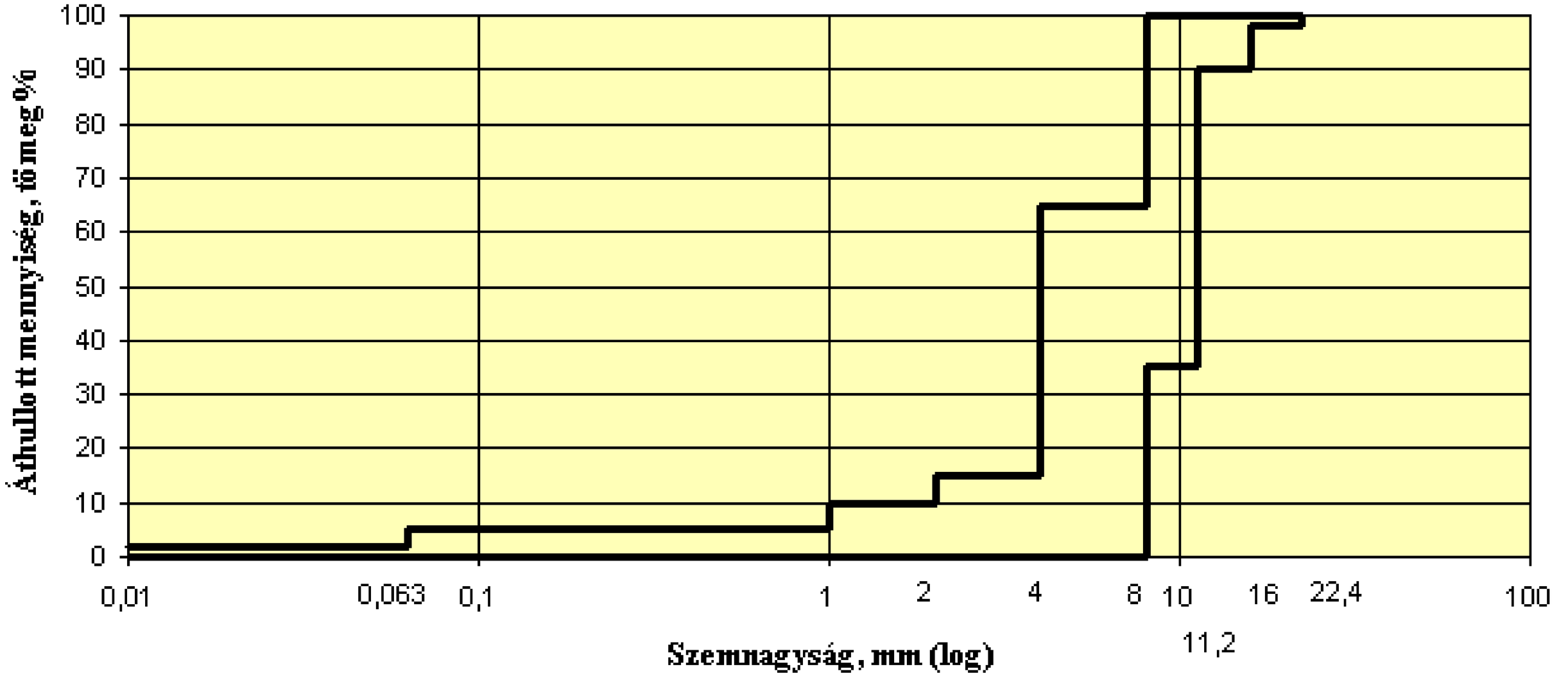
## ZK 0/4 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



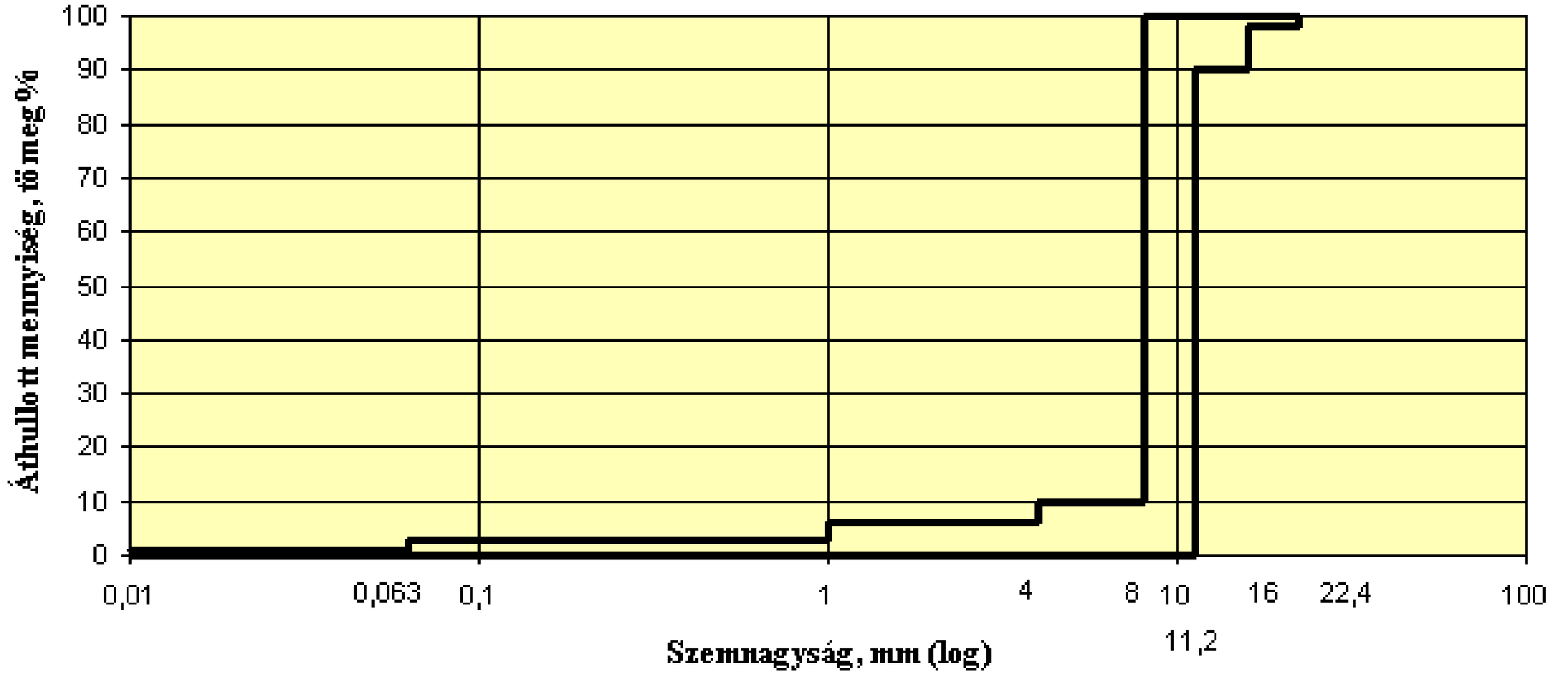

## ZK 4/8 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



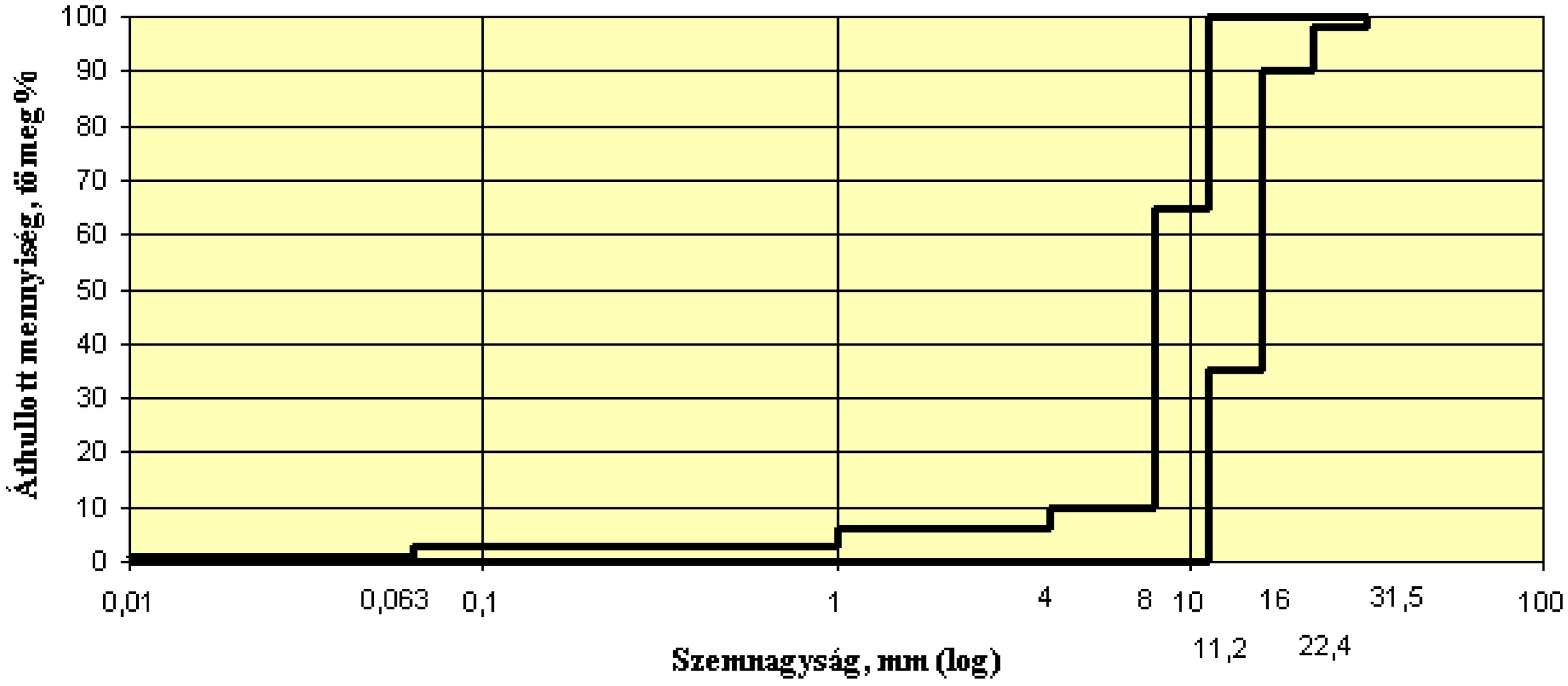
## ZK 4/11 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



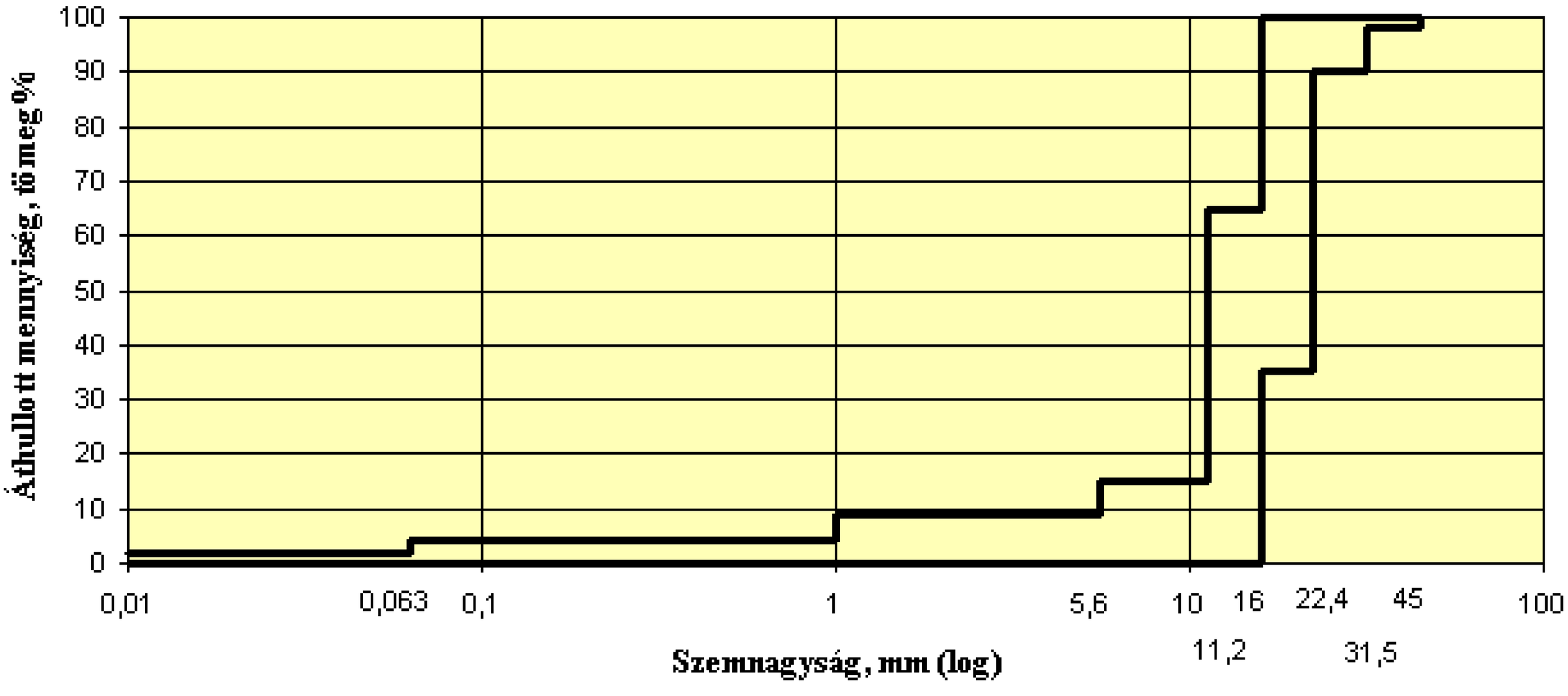

## ZK 8/11 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



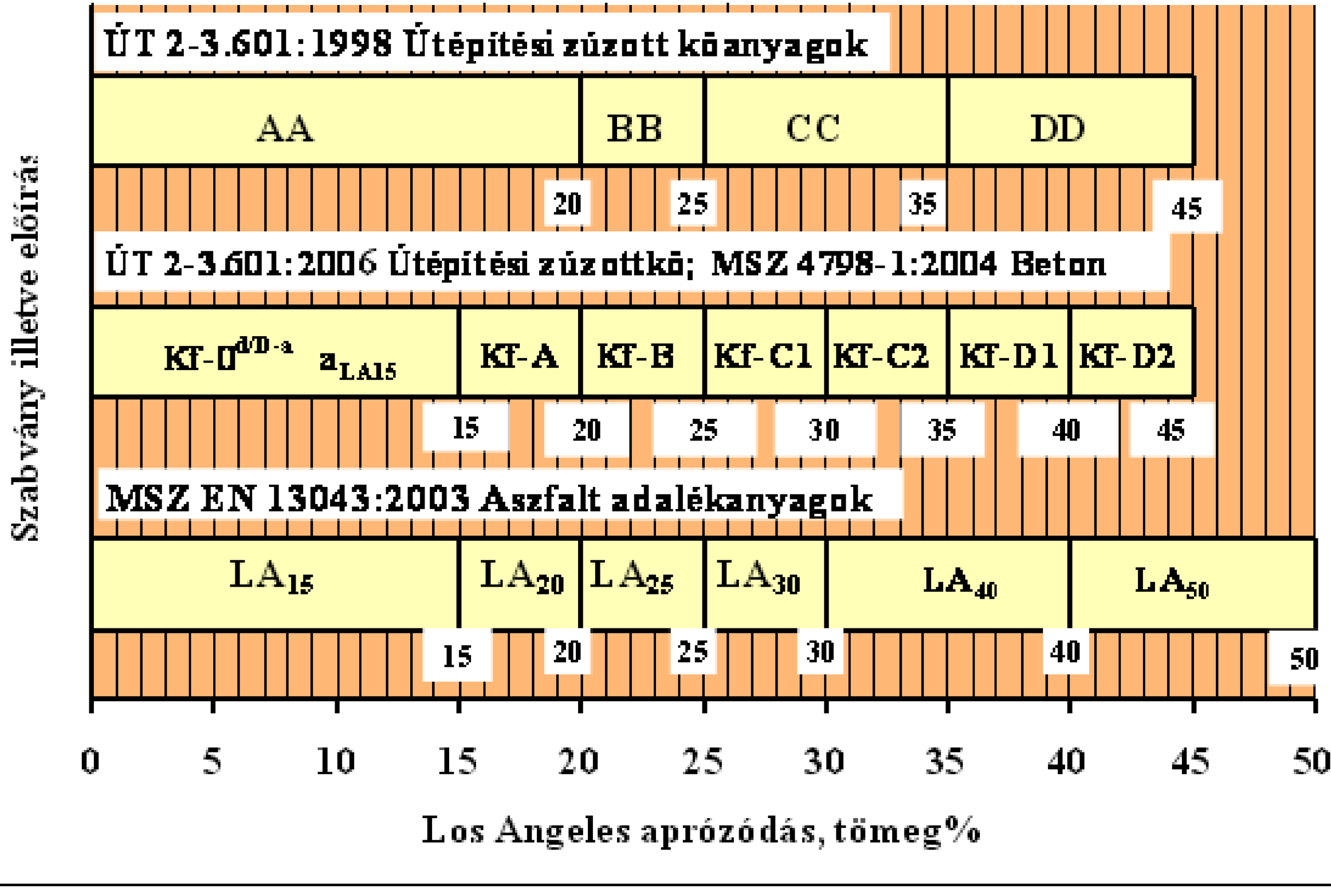
## ZK 8/16 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint




## ZK 11/22 jelű útépítési zúzottkavics szemnegoszlási követelménye ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint



# Kőzetfizikai csoportok a Los Angeles aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban



## Kőzetfizikai csoportok a vizes mikro-Deval aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban

Szabvány illetve előírás

ÚT 2-3.601:1998 Útépítési zúzott kőanyagok

| AA | BB | CC | DD |
|---|---|---|---|

15 20 25 30

ÚT 2-3.601:2006 Útépítési zúzottkő; MSZ 4798-1:2004 Beton

| $Kf\text{-}D^{d/D\text{-}a}$ $a_{MDE10}$ | Kf-A | Kf-B | Kf-C | Kf-D |
|---|---|---|---|---|

10 15 20 25 30

MSZ EN 13043:2003 Aszfalt adalékanyagok

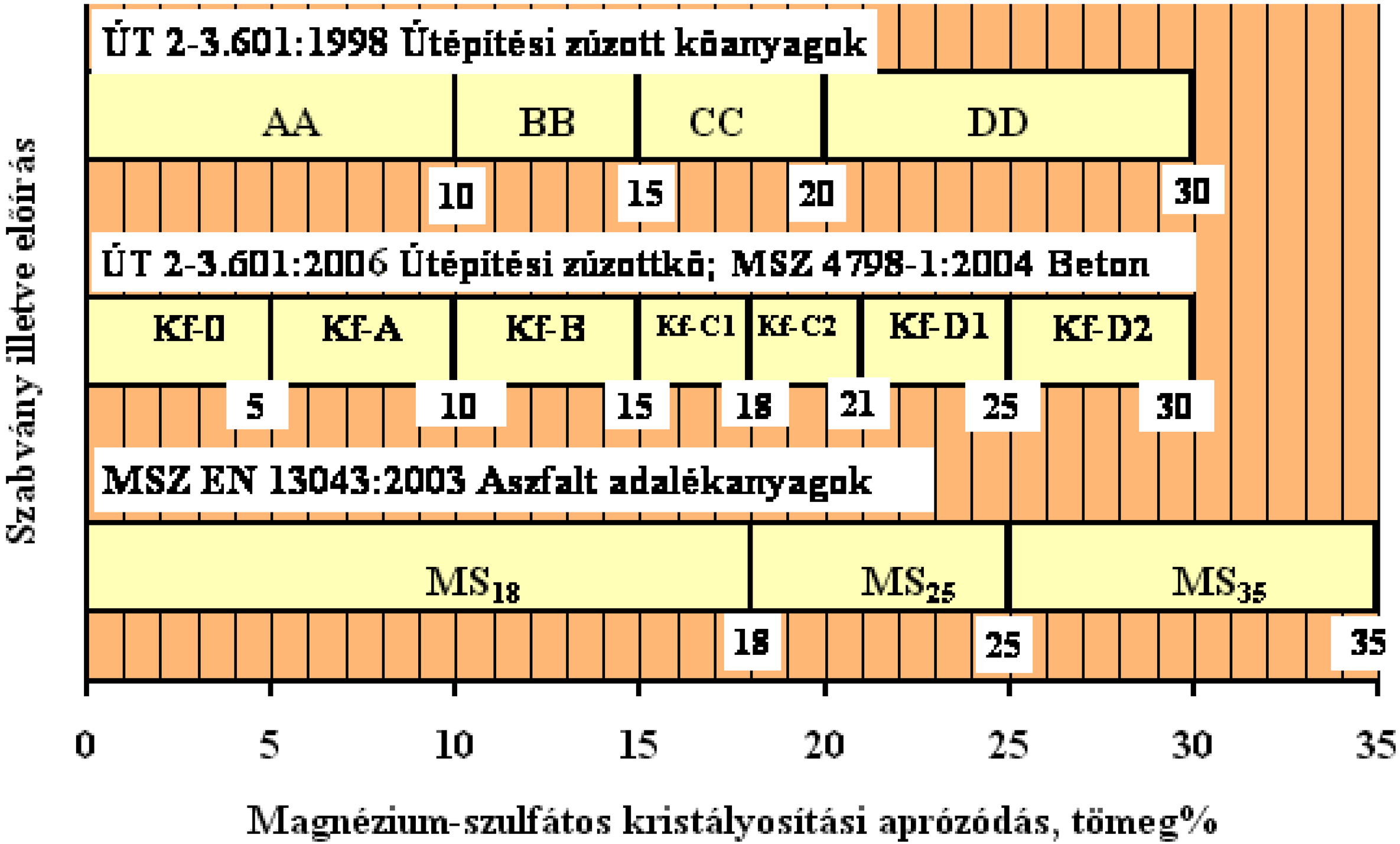
| $M_{DE}10$ | $M_{DE}15$ | $M_{DE}20$ | $M_{DE}25$ | $M_{DE}35$ |
|---|---|---|---|---|

10 15 20 25 35

0 5 10 15 20 25 30 35

Vizes mikro-Deval aprózódás, tömeg%

## Kőzetfizikai csoportok a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás alapján a különböző szabványokban és előírásokban



# ZÚZOTTKÖVEK ÉS ZÚZOTTKAVICSOK KŐZETFIZIKAI CSOPORTJÁNAK VIZSGÁLATA, HA A ZÚZOTTKŐ VAGY ZÚZOTTKAVICS FRAKCIÓ SZEMNAGYSÁGHATÁRA AZ ÚN. „ALAP + 1 KIEGÉSZÍTŐ SZITASOROZAT" SZERINTI

A betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkő nyersanyagot vagy zúzottkő terméket az „önszilárdság" és az időállóság jellemzésére a Los Angeles aprózódás, a mikro-Deval aprózódás és a magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódás vizsgálat eredménye alapján az MSZ 4798-1:2004 szabvány, illetve az ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás szerint kőzetfizikai csoportba kell sorolni. A zúzottkő vagy zúzottkő termék akkor sorolható be valamely kőzetfizikai csoportba, ha az ugyanazon szemnagyságú laboratóriumi mintából (frakcióból) előállított vizsgálati anyag a kőzetfizikai csoport minden követelményét egyidejűleg kielégítette.

Az európai szabványok a 10-14 mm szemnagysághatárú Los Angeles, mikro-Deval, szulfátos kristályosítási vizsgálati minták *referencia-vizsgálatát* írják elő, de megengedik bizonyos *alternatív-vizsgálati* szemnagysághatárok alkalmazását is. Ha a referencia-vizsgálati minták nem állnak rendelkezésre, vagy magát a tényleges szemnagyságú terméket célszerű vizsgálni, akkor Magyarországon megegyezés szerint szabad a Los Angeles, a mikro-Deval, a szulfátos kristályosítási vizsgálatot alternatív-vizsgálatként, a vonatkozó nemzeti szabvány (MSZ 18287-1:1990, MSZ 18287-6:1984, MSZ 18289-3:1985) szerint, az abban szabályozott módon elvégezni (MSZ 4798-1:2004).

Van azonban eltérés abból kifolyólag, hogy az ÚT 2-3.601:2006 útügyi műszaki előírás a zúzottkő és zúzottkavics frakciók szemnagysághatáraként az MSZ EN 13043, MSZ EN 13242, MSZ EN 13285 szabványokban — és MSZ EN 12620 szabványban is — szereplő, és az aszfaltútépítésben használatos ún. „alap + 1 kiegészítő szitasorozat"-ot (benne a 5,6; 11,2; 22,4; 45 mm nyílású szitákkal) használja. Ha a betonadalékanyagként szolgáló zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat" szerinti, akkor ezt a körülményt a vizsgálati minta szemnagysághatáraival is követni kell. Az alternatív Los Angeles vizsgálat ebben az esetben alkalmazandó jellemzőit az *X. táblázatban*, a mikro-Deval vizsgálat jellemzőit az *Y. táblázatban* mutatjuk be.

A kőzetfizikai csoport jelében fel kell tüntetni a laboratóriumi minta (frakció) szemnagysághatárait (*d/D*) és a referencia-vizsgálat (*r*), vagy az alternatív-vizsgálat (*a*) betűjelét (pl. 11/22 mm névleges szemnagysághatárú zúzottkő termék alternatív-vizsgálata esetén pl. $Kf\text{-}A^{11/22\text{-}a}$). Ha alternatív-vizsgálatot végeztek, akkor az alternatív-vizsgálat jelében meg kell adni a vizsgálati minta szemnagysághatárait ($d_1$-$d_2$) (pl. 11-22 mm szemnagyságú vizsgálati minta Los Angeles aprózódása esetén $a_{LA}{}^{11\text{-}22}$).

A zúzottkövek és zúzottkavicsok kőzetfizikai csoportját, jelét és alkalmazhatóságát beton készítés céljára az MSZ 4798-1:2004 tartalmazza. Ez a kőzetfizikai csoport egyesíti magában a hagyományos magyar kőzetfizikai csoport besorolást és a kőanyaghalmazok aprózódási (szilárdsági) tulajdonságainak európai követelményeit.

**X. táblázat:** Los Angeles vizsgálat jellemzői alternatív vizsgálat esetén, ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati szemnagyság mm | Vizsgálati minta tömege g | Golyók száma | Összes golyó tömege g | Összes fordulat száma |
|---|---|---|---|---|---|
| KZ 2/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| KZ 4/8 | 4 – 8 | 5000 ± 5 | 7 | 2920 ± 15 | 500 |
| KZ 8/11 | 8 – 11 | 5000 ± 5 | 9 | 3750 ± 20 | 500 |
| KZ 11/16 | 11 – 16 | 5000 ± 8 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| KZ 16/22 | 16 – 22 | 5000 ± 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| KZ 22/32 | 22 – 32 | 10000 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| NZ 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| NZ 4/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| NZ 11/22 | 11 – 16<br>16 – 22 | 2500 ±<br>2500 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| NZ 22/32 | 22 – 32 | 10000 ± 10 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| NZ 32/56 | 32 – 45<br>45 – 56 | 5000 ±<br>5000 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| Z 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| Z 0/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| Z 0/22 | 4 – 11<br>11 – 22 | 2500 ±<br>2500 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| Z 0/32 | 8 – 16<br>16 – 32 | 2500 ±<br>2500 10 | 12 | 5000 ± 30 | 500 |
| Z 0/45 | 22 – 32<br>32 – 45 | 5000 ±<br>5000 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| Z 0/80 | 45 – 63<br>63 – 80 | 5000 ±<br>5000 25 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| Z 4/22 | 4 – 11<br>11 – 22 | 2500 ±<br>2500 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |
| Z 22/45 | 22 – 32<br>32 – 45 | 5000 ±<br>5000 20 | 12 | 5000 ± 30 | 1000 |
| ZK 0/4 | 3 – 4 | 5000 ± 5 | 6 | 2500 ± 15 | 500 |
| ZK 4/8 | 4 – 8 | 5000 ± 5 | 7 | 2920 ± 15 | 500 |
| ZK 4/11 | 4 – 8<br>8 – 11 | 2500<br>2500 ± 5 | 8 | 3330 ± 20 | 500 |
| ZK 8/11 | 8 – 11 | 5000 ± 5 | 9 | 3750 ± 20 | 500 |
| ZK 8/16 | 8 – 11<br>11 – 16 | 2500<br>2500 ± 8 | 10 | 4165 ± 25 | 500 |
| ZK 11/22 | 11 – 16<br>16 – 22 | 2500 ±<br>2500 10 | 11 | 4580 ± 25 | 500 |

**Y. táblázat:** Mikro-Deval vizsgálat jellemzői alternatív vizsgálat esetén, ha a zúzottkő vagy zúzottkavics frakció szemnagysághatára az „alap + 1 kiegészítő szitasorozat” szerinti

| Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele | Vizsgálati szemnagyság<br>mm | Golyók tömege dobonként<br>g |
|---|---|---|
| KZ 2/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| KZ 4/8 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| KZ 8/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| KZ 11/16 | 11 – 16 | 5500 ± 10 |
| NZ 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| NZ 4/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| NZ 11/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| Z 0/11 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| Z 0/22 | 8 – 16 | 5000 ± 10 |
| Z 0/32 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/45 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 0/80 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| Z 4/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |
| ZK 0/4 | 2 – 4 | 500 ± 5 |
| ZK 4/8 | 4 – 8 | 2500 ± 5 |
| ZK 4/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| ZK 8/11 | 8 – 11 | 4500 ± 10 |
| ZK 8/16 | 8 – 16 | 5000 ± 10 |
| ZK 11/22 | 11 – 22 | 6000 ± 10 |

Budapest, 2006. június 1.

Összefüggés a zúzottkő aprózódása és a felhasználásával készíthető zúzottkőbeton javasolt nyomószilárdsági és környezeti osztálya között

| Zúzottkőbeton | | Zúzottkő | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nyomó-szilárd-sági osztály | Környezeti osztály [a)] | Los Angeles aprózódás, legfeljebb, tömeg% | Mikro-Deval aprózódás, legfeljebb tömeg% | „Régi” kőzetfizikai csoport, legalább | |
| MSZ 4798:2015 | | MSZ EN 12620:2002+A1:2008 | | Los Angeles MSZ 18291:1978 | Mikro-Deval ÚT 2-3.601:1998 |
| C8/10 | XN(H) | $40 < LA \leq \mathbf{50}$ | $30 < M_{DE} \leq \mathbf{35}$ | D | nem volt megengedett |
| C12/15 | X0b(H) és bármely fenti | $35 < LA \leq \mathbf{40}$ | $30 < M_{DE} \leq \mathbf{35}$ | D | nem volt megengedett |
| C16/20 | X0v(H) és bármely fenti | $30 < LA \leq \mathbf{35}$ | $25 < M_{DE} \leq \mathbf{30}$ | C | DD |
| C20/25 | XC1 és bármely fenti | $25 < LA \leq \mathbf{30}$ | $20 < M_{DE} \leq \mathbf{25}$ | C | CC |
| C25/30 | XC2, XF2, XV1(H) és bármely fenti | $20 < LA \leq \mathbf{25}$ | $15 < M_{DE} \leq \mathbf{20}$ | B | BB |
| C30/37 | XC3, XC4, XS1, XD1, XF1, XF3, XF4, XA1, XA2, XK1(H), XV2(H), XV3(H) és bármely fenti | $20 < LA \leq \mathbf{25}$ | $15 < M_{DE} \leq \mathbf{20}$ | B | BB |
| C35/45 | XS2, XS3, XD2, XD3, XD3, XF2(H), XA3, XA4(H), XA5(H), XK2(H) és bármely fenti | $20 < LA \leq \mathbf{25}$ | $15 < M_{DE} \leq \mathbf{20}$ | B | BB |
| C40/50 | XF3(H), XF4(H), XA6(H), XK3(H) és bármely fenti | $15 < LA \leq \mathbf{20}$ | $10 < M_{DE} \leq \mathbf{15}$ | A | AA |
| C45/55 | XK4(H) és bármely fenti | $15 < LA \leq \mathbf{20}$ | $10 < M_{DE} \leq \mathbf{15}$ | A | AA |
| C50/60 | Bármely fenti | $15 < LA \leq \mathbf{20}$ | $10 < M_{DE} \leq \mathbf{15}$ | A | AA |
| C55/67 – C100/115 | Bármely fenti | $LA \leq \mathbf{15}$ | $M_{DE} \leq \mathbf{10}$ | nem volt ilyen szigorú csoport | |

[a)] Környezeti osztály, amely esetén ajánlott az első oszlopban, vele egy sorban feltüntetett, vagy annál nagyobb nyomószilárdsági osztályú beton alkalmazása. Kisebb nyomószilárdsági osztélyú beton akkor alkalmazható, ha annak indokoltságát beton kísérleti eredményekkel igazolják.

Zúzottkő, zúzottkavics és újrahasznosított, illetve visszanyert, tört adalékanyagú beton ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya a zúzottkő, zúzottkavics és újrahasznosított, illetve visszanyert, tört adalékanyag aprózódásának függvényében

| Vizsgálati módszer | Los Angeles és mikro-Deval aprózódás, tömeg% | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Los Angeles aprózódás, tömeg% MSZ EN 1097-2 | LA ≤ **15** | 15 < LA ≤ **20** | 20 < LA ≤ **25** | 25 < LA ≤ **30** | 30 < LA ≤ **35** | 35 < LA ≤ **40** | 40 < LA ≤ **50** |
| Mikro-Deval aprózódás, vizes eljárás, tömeg% MSZ EN 1097-1 | $M_{DE}$ ≤ **10** | 10 < $M_{DE}$ ≤ **15** | 15 < $M_{DE}$ ≤ **20** | 20 < $M_{DE}$ ≤ **25** | 25 < $M_{DE}$ ≤ **30** | 30 < $M_{DE}$ ≤ **35** | 35 < $M_{DE}$ megadott |
| Zúzottkőbeton és zúzottkavicsbeton [a] ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya [c] | | | | | | | |
| | C100/115 | C50/60 | C35/45 | C20/25 | C16/20 | C12/15 | C8/10 |
| Újrahasznosított és visszanyert, tört adalékanyagú beton [b] ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztálya [c] | | | | | | | |
| | – | C45/55 | C30/37 | C16/20 | C12/15 | C8/10 | C8/10 |

[a] Feltéve, ha a zúzottkőbeton és a zúzottkavicsbeton adalékanyagának 4 mm alatti része részben vagy egészben természetes eredetű homok (és esetleg hozzáadagolt finomszemű kiegészítőanyag).

[b] Feltéve, ha az újrahasznosított és a visszanyert, tört adalékanyagú beton adalékanyagának 4 mm alatti része részben vagy egészben természetes eredetű homok.

[c] Az ajánlott legnagyobb nyomószilárdsági osztály túlléphető, ha annak indokoltságát beton kísérleti eredményekkel igazolják.